

УДК 621.1:502.174.3

КП

№ держреєстрації 0109U001381

Інв. №

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
(СумДУ)
40007, м.Суми, вул.Римського-Корсакова, 2
тел. (0542) 33-44-94 факс (0542) 33-40-49

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор СумДУ
з наукової роботи
д.ф.-м. н., професор
А.Чорноус
2010.12.29.

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
"ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИХ
АГРЕГАТИВ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ
ТА РОЗРОБКА НА ЇХ ОСНОВІ ЕНЕРГО- ТА
РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ"
(заключний звіт)

Начальник НДЧ
канд. техн. наук, доцент

В. Осіпов

Керівник НДР
канд. техн. наук, професор

А. Євтушенко

2010

Рукопис закінчено 25 грудня 2010 р.

Результати даної роботи розглянуті науковою радою СумДУ,
протокол № 6 від 2010.12.23

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР Професор, канд. техн. наук	А. Євтушенко (реферат, вступ, висновки, підрозділ 1.2)
Наук. співробітник, канд. техн. наук	А. Папченко (підрозділ 2.2, 2.3)
Провідний фахівець	В. Панченко (підрозділ 2.1)
Мол. наук. співробітник	О. Шепеленко (підрозділи 3.1)
Мол. наук. співробітник	С.Ковальов (підрозділ 1.1, 1.3)
Аспірант	М. Овчаренко (підрозділ 3.2)
Аспірант	Д. Казнієнко (підрозділ 4.1)
Мол. наук. співробітник	С. Хованский (розділ 4.2)
Інженер І кат.	Т. Копитіна (компоновка та редагування звіту)
Лаборант	В. Липовий (розділ 4.3)

РЕФЕРАТ

Звіт: 69 с., 36 рис., 3 табл., 3 додатки, 32 джерела.

Мета роботи – створення методики розрахунку ТГА багатофункціонального призначення, дослідження механізму реалізації окремих процесів та їх узгодження між собою.

Об'єкт дослідження – робочий процес теплогенеруючих агрегатів багатофункціонального призначення. Технічним об'єктом дослідження є гідросистеми з теплогенеруючими агрегатами в їхньому складі.

Спосіб проведення дослідження – розрахунковий та фізичний експерименти.

В даному звіті, який є заключним по темі, основна частина складається з чотирьох розділів. В них відображені результати роботи над виконанням теми на протязі одного календарного року.

Звіт починається зі вступу, де наводиться загальна характеристика робіт по темі. В першому розділі наведені результати дослідження ТГА-гідромлина для підготовки зернового замісу в умовах спиртових заводів. Представлено два напрямки роботи: вдосконалення проточної частини агрегату шляхом фізичного моделювання з метою отримання необхідних характеристик робочого середовища при роботі в проточному режимі; розробка ТГА-гідромлина малої продуктивності для вдосконалення технологічної лінії при спільному використанні з гідродинамічним сепаратором. В другому розділі викладені результати аналізу технології виробництва лакофарбових матеріалів, визначено «вузькі» міста наведеної технології та запропоновані шляхи вирішення питань шляхом впровадження ТГА. Наведено результати лабораторних та промислових випробувань зразків ТГА. Сформовано задачі, проведено попереднє дослідження та розроблено зразок ТГА для технології виробництва лакофарбових матеріалів. Третій розділ містить в собі результати, в частині робіт спрямованих на дослідження та створення ТГА-гомогенізаторів для харчових технологій.

Четвертий розділ містить результати роботи щодо модернізації раніше створених ТГА для кормоприготування у тваринництві з метою розширення його сфер застосування.

ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИЙ АГРЕГАТ, РОБОЧИЙ ПРОЦЕС, ДИСПЕРГАТОР, БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНЕ ПРИЗНАЧЕННЯ, ГОМОГЕНІЗАТОР, ГІДРОМЛИН, ГІДРОДИНАМІЧНИЙ СЕПАРАТОР, БІСЕРНИЙ МЛИН.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
1 СТВОРЕННЯ ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧОГО АГРЕГАТУ-ГІДРОМЛИНА ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА ЕТИЛОВОГО СПИРТУ.....	9
1.1 Створення модернізованої проточної частини ТГА-гідромлина для роботи в проточному режимі.....	9
1.2 Модернізація технологічної лінії шляхом впровадження гідродинамічного сепаратора та ТГА-гідромлина низької продуктивності...	11
1.3 Баланс енергії ТГА-гідромлина.....	14
2 ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИХ АГРЕГАТИВ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ЛАКОФАРБОВИХ МАТЕРІАЛІВ.....	15
2.1 Огляд технології виробництва лакофарбових матеріалів.....	15
2.2 Огляд обладнання для реалізації процесу гомогенізації та диспергації ЛФМ.....	18
2.3 Створення роторно-динамічного ТГА.....	29
3 СТВОРЕННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО, РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	32
3.1 Результати інформаційного огляду.....	32
3.2 Особливості конструктивної схеми ТГА-гомогенізатора та визначення його характеристик.....	41
4 МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧОГО АГРЕГАТУ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ДЛЯ КОРМОПРИГОТУВАННЯ У ТВАРИННИЦТВІ.....	46
4.1 Передумови модернізації агрегатів ТГА для кормоприготування у тваринництві.....	46

4.2. Опис модернізованої конструкції проточної частини.....	49
4.3 Розрахунок енергетичних параметрів модернізованої проточної частини.....	51
ВИСНОВКИ.....	59
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	60
Додаток А Акт випробувань ТГА-гомогенізатора на ТОВ "Імпульс".....	64
Додаток Б Акт впровадження результатів наукового дослідження на ДП "Сумиспирт".....	66
Додаток В Акт впровадження ТГА-гомогенізатора на ДВ ТОВ "ВО Моліс".....	68

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

Умовні позначення

μ - коефіцієнт динамічної в'язкості, Па·с;
 ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості, м²/с;
 ρ - густина рідини, кг/м³;
 D, R - діаметр, радіус робочого колеса, м;
 g - прискорення вільного падіння, м/с²;
 n_s - коефіцієнт швидкохідності;
 n – частота обертання, об/хв.;
 Q - подача (витрата) рідини, м³/с;
 H - напір, м;
 z - кількість лопатей в робочому колесі;
 ω - кутова швидкість обертання, с⁻¹;
 h - зазор між статорними та роторними елементами проточної частини, м;
 b - ширина пазу робочого колеса або статорного апарату⁴
 η - коефіцієнт корисної дії;
 h - втрати енергії, м;

Скорочення

ТГА – теплогенеруючий агрегат;
 ТГА-ГМ – теплогенеруючий агрегат - гідромлин;
 ПЧ – проточна частина;
 ККД – коефіцієнт корисної дії;
 РК – робоче колесо.

ВСТУП

Розвиток ряду галузей народного господарства в умовах підвищення цін на енергоносії вимагає перегляду існуючих технологічних процесів з метою пошуку шляхів для енерго- та ресурсозбереження. Своєчасна реалізація вказаних засобів дозволяє знизити собівартість продукції та відповідно підвищити конкурентоспроможність як на внутрішньому ринку нашої країни, так і за кордоном. У якості альтернативного технологічного обладнання для процесів, що характеризуються змішуванням багатокomпонентних рідких середовищ, подрібненням твердих включень, що в ньому знаходяться, підігрівом та перекачуванням, може бути використано теплогенеруючі агрегати багатofункціонального призначення та обладнання створене на їх основі.

Прикладом вказаних технологій, для яких не тільки теоретично, а й шляхом попередніх випробувань обґрунтована доцільність використання ТГА є:

- приготування зернового замісу в умовах спиртових заводів (головне протиріччя існуючої технології полягає в попередній сушці зерна, його подрібненні та наступному змішуванні з водою) [1];
- приготування рідких кормів (соева суспензія та молоко, рідкі зернові суміші) в умовах сільськогосподарських підприємств [2, 3];
- виробництво біологічно активних добавок, яке вимагає змішування хімічно реактивних компонентів з постійним контролем реакції, що відбувається [4, 5];
- виробництво мастил, змазок та змащувально-охолоджуючих рідин, яке передбачає протікання хімічної реакції при певному температурному режимі з одночасним інтенсивним перемішуванням компонентів;
- виробництво лакофарбових матеріалів, яке передбачає змішування ряду рідких компонентів з наступним додаванням пігменту та його подрібненням (найбільш складним етапом є подрібнення пігменту, яке реалізується бісерними млинами. Цей процес відбувається зі

значним зносом технологічного обладнання, що значно підвищує експлуатаційні витрати) [6];

- виробництво ряду харчових продуктів (молока, майонезу, кетчупів, паст, твердих сирів, маргарину, соків тощо). Вказані технології передбачають процес гомогенізації, який в значній мірі визначає якості отриманих продуктів та їх стійкість) [7, 8].

За таких умов однією із важливих наукових задач є дослідження робочого процесу теплогенеруючих агрегатів багатофункціонального призначення при роботі на складних багатокомпонентних робочих середовищах.

Об'єктом дослідження є робочий процес теплогенеруючих агрегатів багатофункціонального призначення.

Ефективне впровадження агрегатів ТГА у вказані технологічні процеси може бути досягнуте лише за умови ґрунтовного дослідження роботи агрегатів на відповідних середовищах, отримання практичних рекомендацій щодо підвищення ефективності тих чи інших операцій, що відбуваються в ТГА.

1 СТВОРЕННЯ ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧОГО АГРЕГАТУ-ГІДРОМЛИНА ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА ЕТИЛОВОГО СПИРТУ

Розробка ТГА-гідромлина [1] для технології підготовки зернового замісу в умовах спиртових заводів [9, 10] передбачала такі етапи як розробка безпосередньо агрегату, дослідження його роботи в циклічному та проточному режимах, створення гідродинамічного сепаратора для розподілу робочого середовища. Передумовою виконання етапу щодо розробки сепаратора була невідповідність зернового замісу на вигоді з ТГА-гідромлина нормативним вимогам. За таких умов було поставлено дві наукові задачі:

- 1) модернізація проточної частини ТГА з метою отримання робочого середовища з необхідними показниками при роботі в проточному режимі;
- 2) створення гідродинамічного сепаратора, який дозволяє розподілити робоче середовище на два (з відповідними характеристиками подається далі за технологічною лінією, а потік з більш великими розмірами зернової крупки повертається знову до агрегату для більш якісного подрібнення).

1.1 Створення модернізованої проточної частини ТГА-гідромлина для роботи в проточному режимі

Основною ідеєю модернізації проточної частини є створення робочого елемента проточної частини, який унеможливило прохід крупинок з розмірами більше 1 мм та забезпечує додаткове їх подрібнення. На рис. 1.1 та 1.2 наведено ескізи робочого колеса та статорного апарату. Основною відмінністю наведеної конструкції від попередньої є наявність на периферії робочих органів ділянки, що утворює певний осьовий зазор, який варіюється в межах від 0.5 до 1.0 мм. Це дозволяє в необхідних межах забезпечувати гранулометричний склад робочого середовища. Для підводу робочого середовища з меншими гідравлічними втратами до осьової шпарини передбачена конічна ділянка як на робочому колесі, так і на

статорних апаратах. На вказаних елементах передбачена нарізка великої кількості пазів, які забезпечують додаткове подрібнення більш крупних частинок. Певної зміни набули й канали, що виконуються на бокових поверхнях робочих органів. У попередній конструктивній схемі пази на робочому колесі на статорних апаратах виконувалися у радіальному напрямках, що при певному кутовому положенні створювало можливість проходу через проточну частину не подрібненого зерна. Розташування каналів на статорному апараті та робочому колесі під різними кутами унеможливорює прохід не подрібненого зерна.

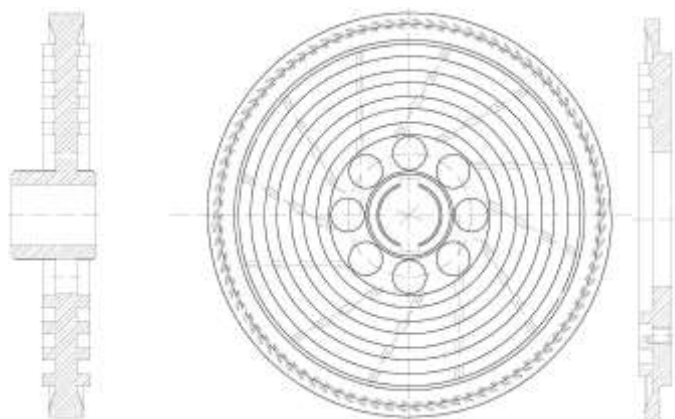


Рисунок 1.1 – Модернізоване робоче колесо

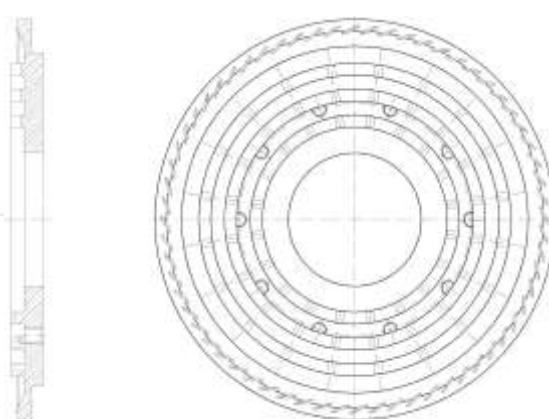


Рисунок 1.2 – Модернізований статорний апарат

Випробування модернізованої проточної частини виконувалися в промислових умовах Стецьківського спиртового заводу та передбачали дозовану подачу зерна та води до змішуючого пристрою та ТГА-гідромлина. На виході з агрегату визначалися гранулометричні показники робочого середовища з одночасною фіксацією енергетичної характеристики. Результати випробування підтвердили попередні припущення. На виході з агрегату робоче середовище в 100% обсязі проходить через сито з коміркою 1 мм, що повністю відповідає нормативним вимогам. Але в той же час спостерігалось зменшення номінальної продуктивності агрегату до 40%. За таких умов вирішення поставленої задачі дозволило створити проточну частину, що забезпечує необхідні характеристики. Корегування продуктивності агрегату може бути здійснено шляхом модельного перерахунку зі створеної проточної частини.

1.2 Модернізація технологічної лінії шляхом впровадження гідродинамічного сепаратора та ТГА-гідромлина низької продуктивності

У випадку обмеження капітальних витрат на модернізацію технологічної лінії підготовки зернового замісу шляхом повної заміни обладнання на ТГА-гідромлин може бути використана комбінована схема, що передбачає часткову модернізацію (рис. 1.3, 1.4).

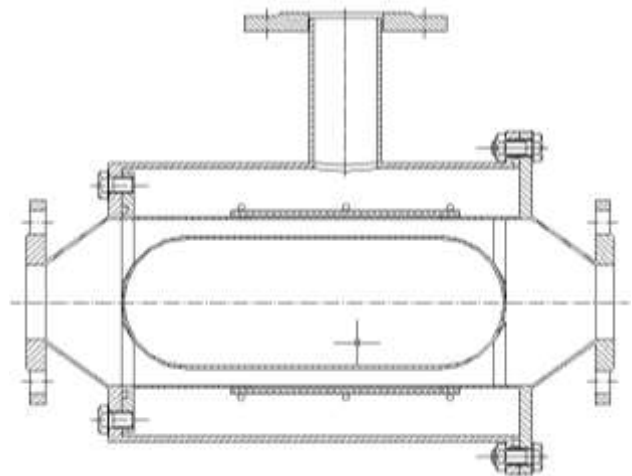
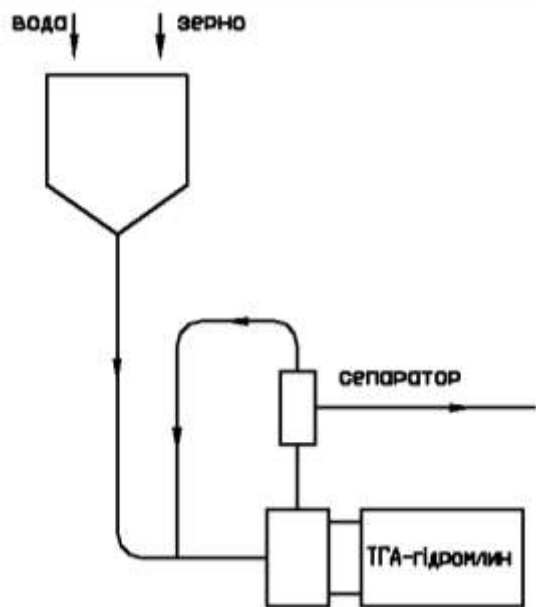


Рисунок 1.3 - Схема технологічної лінії з гідромлином та сепаратором

Рисунок 1.4 - Гідравлічний сепаратор

У цьому випадку покращення якостей зернового замісу досягається установкою в діючу технологічну лінію сепаратора (рис.3) на виході зі змішувача. Потік робочого середовища у сепараторі розподіляється на два:

- з відповідними характеристиками подається плунжерним насосом далі до технологічної лінії;
 - потік з більш великими крупинками відводиться до ТГА-гідромлина низької продуктивності для додаткового подрібнення та наступної подачі до змішувача.
- Аналіз діючих технологічних ліній дає можливість зробити висновок, що близько 20-25% робочого середовища на виході з сепаратора не відповідає нормативним вимогам. За таких умов доцільно розробити ТГА-гідромлин з продуктивністю

2 т/годину. Моделювання проточної частини доцільно виконати шляхом модельного перерахунку зі створеного аналогу.

У загальному вигляді залежність потужності агрегату від конструктивних та режимних параметрів можна записати у наступному вигляді [11]:

$$N = k_N \rho n^3 d^5,$$

де k_N – критерій потужності, який залежить від конструктивних параметрів агрегату, витрат і фізико-хімічних властивостей середовища;

ρ - щільність робочого середовища, кг/м³;

n - частота обертання ротору, с⁻¹;

d - характерний лінійний розмір, м.

У загальному випадку залежність k_N від конструктивних параметрів можна записати у вигляді [12, 13]:

$$k_N = \pi^4 x^2 + \frac{B}{\text{Re}_{\delta i}^m} \left[\left(\frac{b_{\delta} z_{\delta}}{d} \right)^q + \left(\frac{b_c z_c}{d} \right)^q \right] \cdot \left(1 + \frac{1}{k} \frac{Q}{\pi d n b_c z_c l_c} \right) \cdot \left(\frac{h}{d} \right)^{0.2}.$$

За умов модельного [14] перерахунку відбувається відповідно модельна зміна й конструктивних параметрів (b, z, d, h, l_c) , що визначають значення коефіцієнту k_N . За умов, коли коефіцієнт модельного перерахунку [14] геометричних розмірів $\lambda = \frac{d_f}{d_i}$ залежність для визначення потужності можна записати у вигляді:

$$N_i = k_{Ni} \rho_i^3 d_i^5,$$

$$N_f = k_{Nf} \rho_f^3 d_f^5.$$

Таким чином існує можливість не повного розрахунку параметрів агрегату, а їх перерахунок з раніше створеної моделі, що забезпечує меншу похибку

$$N_i = N_i \frac{k_{Nf}}{k_{Ni}} \rho \frac{n_i^3}{n_i^3} \lambda^5.$$

При роботі модельної та натурної проточних частин на однаковому робочому середовищі та при одні і тій же частоті обертання ротора залежність можна записати у наступному вигляді:

$$N_i = N_i \frac{\pi^4 x^2 + \frac{B}{\text{Re}_{\partial i}^m} \left[\left(\frac{b_{\partial i} z_{\partial}}{d_i} \right)^q + \left(\frac{b_{ci} z_c}{d_i} \right)^q \right] \cdot \left(1 + \frac{1}{k} \frac{Q}{\pi d n b_{ci} z_c l_{ci}} \right) \cdot \left(\frac{h_i}{d_i} \right)^{0.2}}{\pi^4 x^2 + \frac{B}{\text{Re}_{\partial i}^m} \left[\left(\frac{b_{\partial i} z_{\partial}}{d_i} \right)^q + \left(\frac{b_{ci} z_c}{d_i} \right)^q \right] \cdot \left(1 + \frac{1}{k} \frac{Q}{\pi d n b_{ci} z_c l_{ci}} \right) \cdot \left(\frac{h_i}{d_i} \right)^{0.2}} \lambda^5$$

Шляхом модельного перерахунку для вирішення поставленої задачі були отримані конструктивні параметри та спроектовано ТГА-гідромлин малої продуктивності (рис. 1.5). Агрегат характеризується консольною схемою, розташуванням на валу ступеня грубого помолу та ступеня тонкого помолу модернізованої конструкції. Для зменшення витоків рідини передбачено сальникове ущільнення. Основною відмінністю від попередньої конструктивної схеми є використання робочого колеса другого ступеня одностороннього входу.

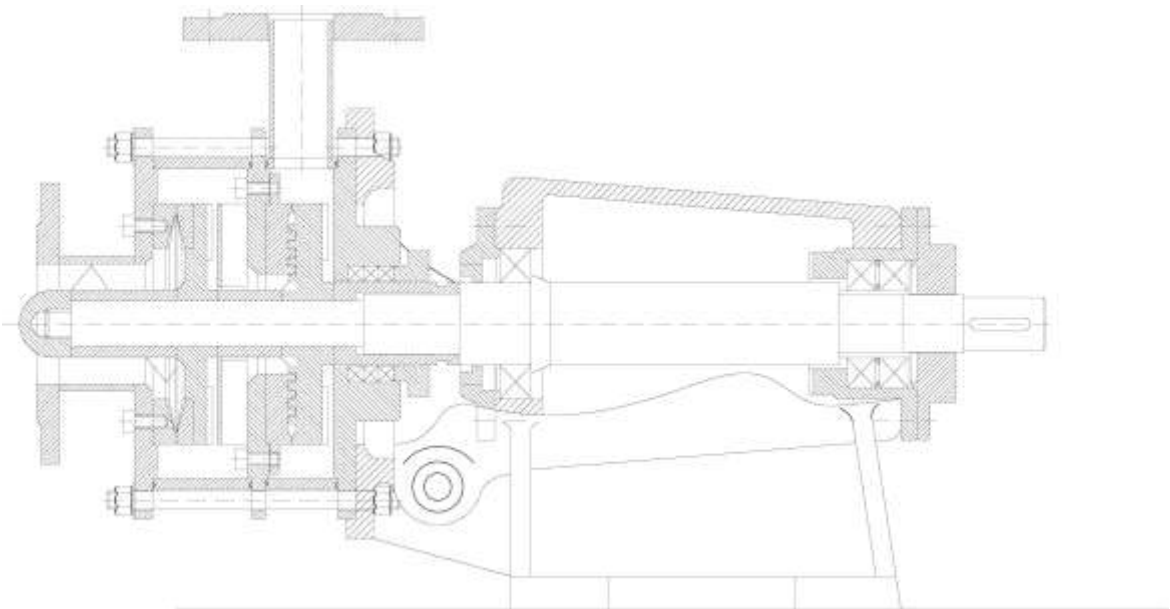


Рисунок 1.5 - ТГА-гідромлин низької продуктивності.

1.3 Баланс енергії ТГА-гідромлина

При розрахунку ТГА-гідромлина для роботи на гідросумішах доволі важливим питанням є визначення потужності привідного двигуна та витрат енергії для реалізації окремих процесів. Враховуючи взаємозв'язок процесів, що відбуваються в агрегаті, баланс енергії умовно можна представити наступним чином [15]:

$$N = N_{i\dot{a}\dot{o}} + N_{ii\dot{a}\dot{o}} + N_i ,$$

де N - загальна потужність агрегату;

$N_{i\dot{a}\dot{o}}$ - витрати енергії на перемішування рідини;

$N_{ii\dot{a}\dot{o}}$ - витрати енергії на подрібнення твердих включень, що містяться у робочому середовищі;

N_i - витрати енергії на перекачування робочого середовища.

Найбільш ваговою складовою є потужність, що витрачається на перемішування робочого середовища в проточній частині агрегату. Найбільш повно конструктивні та режимні параметри враховує методика [11, 12, 13] та дозволяє з певною похибкою визначити потужність при роботі агрегату на чистому робочому середовищу. За таких умов інші складові для попереднього розрахунку доцільно наводити у відсотковому співвідношенні. Найменш дослідженою складовою є витрати на подрібнення твердих включень робочого середовища. У загальному вигляді вона залежить від кількісного вмісту твердою фази, її характеристик (тип, вологість, розміри тощо), необхідного гранулометричного складу. За умов підготовки зернового замісу витрати на подрібнення складають від 20 до 45%. Витрати енергії на перекачування робочого середовища для вказаного типу агрегатів є більш вивченими та складають до 10%.

2 ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИХ АГРЕГАТІВ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ЛАКОФАРБОВИХ МАТЕРІАЛІВ

На сьогоднішній час перед кожним виробником стоїть задача підвищення конкурентоспроможності свого обладнання. Рішення цієї задачі потребує детального перегляду існуючих конструкцій і створення принципово нових, більш енергоефективних. Технологія виробництва лакофарбових матеріалів [16, 17] постійно удосконалюється. Даний процес є енергомістким і включає в себе дві стадії: перемішування та подрібнення компонентів.

Для таких задач можуть використовуватися машини вузького призначення для виконання лише однієї технологічної операції або її частини. Такі системи відрізняються складністю конструкції, що негативно відображається на експлуатаційних характеристиках і вартості устаткування.

Кращим є підхід, при якому з метою підвищення енергоефективності декількох технологічних операцій реалізуються в рамках однієї машини (наприклад комбінування процесів перемішування, подрібнення і перекачування продукту). Об'єднання декількох процесів в межах одного агрегату вимагає ґрунтовного дослідження робочого процесу таких машин та визначення механізму перерозподілу енерговитрат на реалізацію кожного з процесів.

За таких умов поставлена задача ґрунтовного вивчення технології виробництва лакофарбових матеріалів, обґрунтування можливості використання агрегатів багатофункціонального призначення та відповідно створення такого обладнання для визначених параметрів.

2.1 Огляд технології виробництва лакофарбових матеріалів

Лакофарбовий матеріал (ЛФМ) - продукт, що володіє здатністю при нанесенні тонким шаром на виріб створювати на поверхні захисну або декоративну плівку (покриття).

Асортимент лакофарбових матеріалів:

- Лаки (розчини плівкоутворюючих речовин в органічних розчинниках або у воді, які створюють після затвердіння (висихання) тверду, однорідну і прозору плівку).
- Емалі (суспензії пігментів або їх сумішей з наповнювачами в лаку, які створюють після висихання непрозору тверду плівку з різним блиском і фактурою поверхні). По мірі блиску емалі підрозділяються на: глянцеві, напівглянцеві, матові, напівматові.
- Фарби (суспензії пігментів з наповнювачами в оліфі, емульсії, латексі або іншій плівкоутворюючій речовині, які створюють після висихання непрозору, однорідну плівку). Фарби підрозділяються на масляні (на основі оліфи) і водоемульсійні (на основі водних дисперсій синтетичних полімерів).
- Ґрунтовки, ґрунти (суспензія пігментів з наповнювачами в плівкоутворюючій речовині, які створюють після висихання непрозору плівку з хорошою адгезією до підкладки і захистом металів від корозії).
- Шпаклівки (в'язкі пастоподібні маси, що складаються з суміші пігментів, наповнювачів і плівкоутворюючої речовини і призначені для заповнення нерівностей і поглиблень поверхні під фарбування).
- Оліфа (плівкоутворююча рідина, отримана переробкою рослинних олій з введенням сикативів для прискорення висихання).
- Дисперсія ПВА (полівінілацетатна дисперсія - в'язка рідина білого або злегка жовтуватого кольору - універсальний матеріал з високою склеювальною здатністю. Застосовується при виробництві вододисперсійних фарб, шпаклівок, ґрунтів, клеїв ПВА і інших будівельних матеріалів).

Технологія виробництва ЛФМ на водній основі аналогічна тій, що використовується для отримання традиційних ЛФМ на органічній основі.

Розглянемо технологічний процес виробництва лакофарбових матеріалів. Він складається з наступних основних стадій:

1. Виготовлення пігментних паст – диспергування пігментів і наповнювачів в плівкоутворювачі (розчині лаку або смоли);

2. Змішування пігментних паст з рецептурною кількістю лаків, смол і іншими компонентами рецептури (розчинниками, пластифікаторами, функціональними добавками) з подальшим коліруванням (при необхідності);
3. Фільтрація і розфасовка продукції – очищення від механічних домішок і сторонніх включень, крупних частинок пігментів, окисних плівок, і т. д. з використанням фільтруючого устаткування з подальшою розфасовкою в тару.

З усіх перерахованих стадій диспергування – найбільш енергоємний процес. Вартість готової емалі оберненопропорційна величині розміру частинок пігменту, утворюючих лакофарбове покриття. У зв'язку з цим ефективно подрібнення пігментів і наповнювачів є найважливішою операцією у виробничому процесі ЛФМ. Необхідні оптичні властивості часток, а особливо – здатність розсіювання світла – тим більше, чим тонше подрібнені частки дисперсної фази. З іншої сторони дисперсність пігмента характеризується розмірами частинок, які не повинні перевищувати товщину плівки лакофарбового покриття (ЛФП), інакше поверхня буде нерівною, шорсткою. Розміри частинок пігменту також залежать і від призначення ЛФМ. Так найкраща покривна здатність та захисні властивості покриття досягаються при використанні частинок пігмента розміром 0,2-10 мкм.

Отже, одним із найбільш важливих аспектів для зниження витрат на виробництво і собівартість продукції, а також для гарантованого забезпечення необхідних декоративних і захисних властивостей ЛФМ і покриттів на їх основі, є правильний вибір диспергуючого обладнання і ефективна його робота.

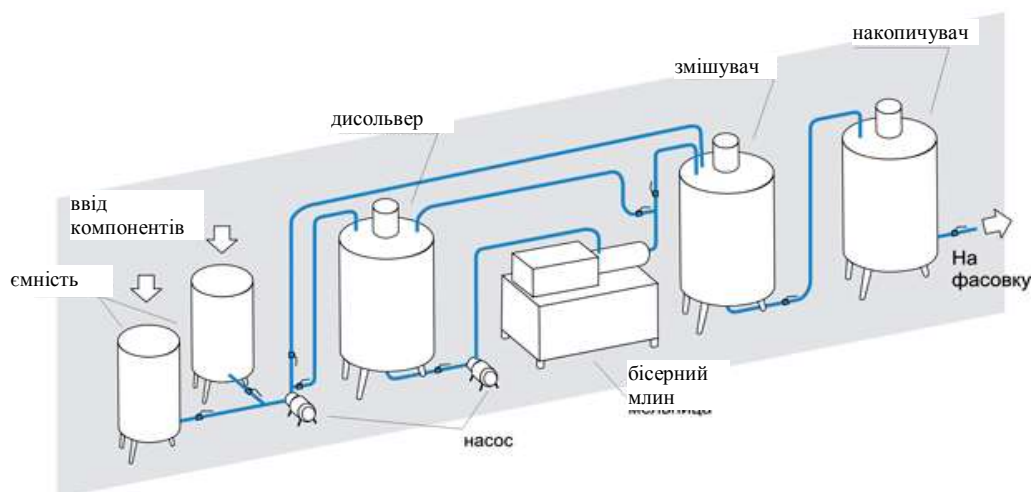


Рисунок 2.1 - Лінія виробництва ЛФМ

Наведена на рис. 2.1 технологічна лінія містить в якості диспергуючого обладнання дисольвер і горизонтальний бісерний млин (вертикальний).

2.2 Огляд обладнання для реалізації процесу гомогенізації та диспергації ЛФМ

У лакофарбовому виробництві для диспергування найчастіше застосовується двоступінчатий каскад, який складається з дисольвера і бісерного млина (рис.2.1).

Дисольвер (рис. 2.2 а) необхідний для гомогенізації частинок пігменту в середовищі плівкоутворюючої речовини, його змочування і попереднього диспергування, а бісерний млин – для остаточного подрібнення пігменту [18, 19, 20].

Дисольвери можуть служити і самостійними диспергуючими апаратами (наприклад, для виготовлення пігментних паст для різних ґрунтовок, фасадних і водно-дисперсійних будівельних емалей, емалей для розмітки доріг і ін.), якщо при здобутті кінцевого продукту не вимагається високої міри дисперсності. Розмір частинок пігментної суспензії після закінчення попереднього диспергування складає 60 – 90 мкм. Ця величина залежить від багатьох чинників, в першу чергу – від диспергувальних властивостей пігменту. Дисольвер є стаціонарною конструкцією з підйимальною фрезою. Підйом фрези здійснюється гідравлічним циліндром. На штоку циліндра встановлено привід фрези і сама фреза. Диск мішалки піднімається на висоту діжі. Діжа встановлюється під диском фрези, диск

опускається і вмикається його обертання. Робочим органом дісольвера є зубчастий диск – фреза (рис. 2.2 б). Двигун дісольвера значно потужніший, ніж у звичайного змішувача. Різниця потужності виникає через різне призначення устаткування. Дісольвер використовується, перш за все, для процесу диспергування твердих часток в рідину, тобто для їх подрібнення. Якщо для утворення суспензії твердих часток в рідину (для змішення двох фаз: твердої – пігменту і рідкої – плівкоутворювач) в середньому необхідна щільність дисипації потужності порядку $e=1$ Вт/кг, то при подрібненні це значення лежить в інтервалі $e=10 - 100$ Вт/кг. Якщо механічна потужність, що підводиться до системи «рідина - тверді частинки» у вигляді агломератів, дуже мала, змішування двох фаз можливе, але неможливе подрібнення твердих частинок [5]. Дісольвер одночасно перемішує двофазне середовище і подрібнює тверді пігменти. Фреза, що обертається з великою швидкістю, створює високу зрізаючу силу, яка викликає руйнування агломератів. На ефективність процесу значно впливають як геометрія і конфігурація самої фрези, так і геометрія всієї подрібнюючої системи «фреза – діжа дісольвера» [21].



Рисунок 2.2 - а)дісольвер;

б) фреза дісольвера;

в) дискова мішалка

Дискова мішалка (рис. 2.2 в) придатна для змішування частинок твердих матеріалів з в'язкими рідинами і для дезінтегрування волокнистих речовин [3].

Слід зазначити те, що дисольвери і мішалки перш за все призначені для змішування і можуть виконувати лише грубий помол твердих частинок у рідині.

Бісерні млини

Основне призначення бісерних (шарових) млинів – тонке подрібнення твердих матеріалів. У випадках, коли необхідно подрібнити твердий матеріал і змішати його з рідиною, ці дві операції можна поєднати і використовувати бісерний млин не тільки для подрібнення, а і як пристрій для змішування [2]. У лакофарбовому виробництві найчастіше зустрічаються наступні типи бісерних млинів: вертикальні, горизонтальні, конусні і занурювані.

Такий млин складається з циліндрової розмельної камери (7) із змінною гільзою, усередині якого обертається вал з дисками (4). Розмельна камера встановлена на колесах, закріплюється в корпусі (12); вал ротора сполучений з привідним валом еластичною передачею. Пігментна суспензія безперервно подається насосом в нижню частину корпусу вертикального "стакана", заповненого на 50 – 60% об'єму бісером. Міняючи подачу насоса, можна регулювати середній час перебування пігментної пасти в робочій камері млина.

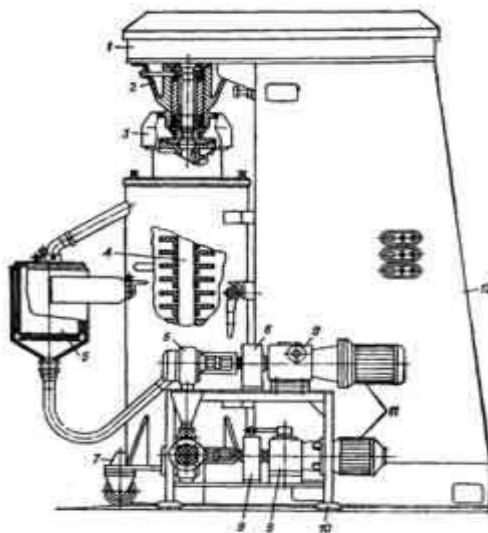


Рисунок 2.3 - Вертикальний бісерний млин

- 1 – привід; 2 – підшипник; 3 – муфта; 4 – вал з дисками;
 5 – приймач пасти; 6 – насос; 7 – розмельна камера; 8 – обгороджування;
 9 – варіатор; 10 – станина; 11 – електродвигун; 12 – корпус млина.

У верхній частині корпусу паста відділяється від бісеру за допомогою сепаратора сітчастого типу. Корпус забезпечено контуром охолодження, за допомогою якого підтримується температура пігментної пасти [2].

Основні переваги вертикальних бісерних млинів:

- 1) порівняно проста конструкція;
- 2) простота обслуговування;
- 3) відносно мала займана виробнича площа.

Основні недоліки:

- 1) низька продуктивність при дезагрегації паст пігментів, що важко диспергують;
- 2) неможливість використання «важкого» цирконієвого бісеру для підвищення продуктивності млина;
- 3) сильна загазованість робочої зони, при використанні сепаратора сітчастого типу;
- 4) необхідність замивання сітки сепаратора від висихаючої пігментної пасту при роботі в періодичному режимі;
- 5) високі експлуатаційні витрати у зв'язку з швидким зносом робочих органів бісером;
- 6) велика тривалість циклу подрібнення.

Робоча система горизонтального бісерного млина складається з герметичної циліндрової камери, заповненої подрібнюючими робочими тілами, що приводяться в рух за допомогою дисків або пальців, розташованих на валу, що обертається (рис. 2.4). Робочі тіла – бісер із скла, кераміки, металу.

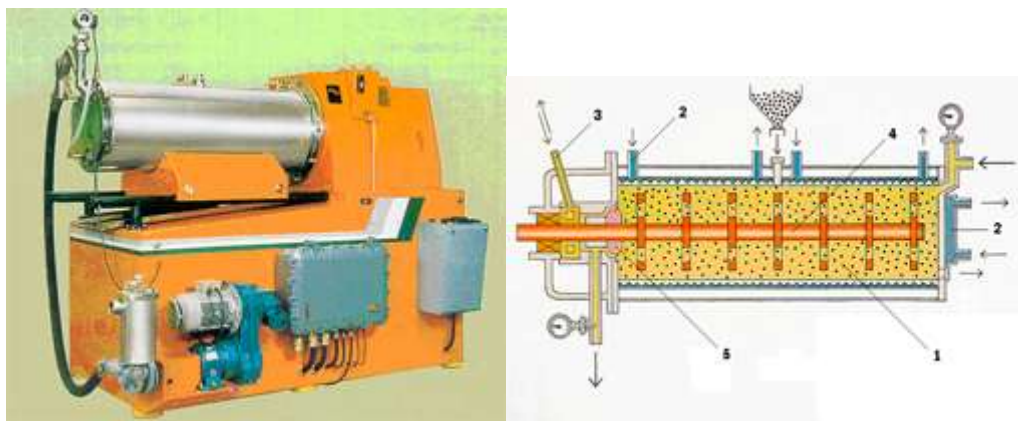


Рисунок 2.4 - Робоча камера горизонтального бісерного млина

1 – пігментна паста і бісер; 2 – охолодження;

3 – водяний замок охолодження; 4 – ротор з дисками; 5 – щілинний сепаратор

Пігментна суспензія проходить через робочу камеру млина, при цьому заздалегідь змочені рідкою фазою агрегати продавлюються між бісером і піддаються подрібненню. Подрібнений продукт виходить з камери через сепаруючу систему (розділовий пристрій щілинного, рідше – сітчастого, типа), де бісер відділяється від пігментної пасти (рис. 2.5).

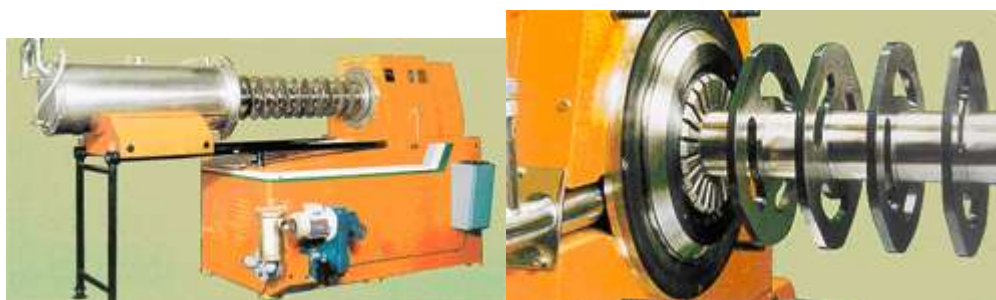


Рисунок 2.5 - Щілинний розподіловий пристрій горизонтального бісерного млина

На відміну від дисольвера, в бісерному млині подрібнення відбувається по всьому об'єму робочої камери, досягається найвищий ступінь диспергації. Горизонтальні бісерні млини доцільно застосовувати в стаціонарних технологічних схемах для безперервного диспергування паст низької і середньої в'язкості одного

пігменту або для періодичного диспергування за діжковою технологією різних пігментів загальної колірної групи, наприклад, синьо-зелених, червоно-коричневих і так далі. Часті переходи з кольору на колір небажані, оскільки зв'язані з тривалим простоєм устаткування і великою витратою розчинника на вимивання.

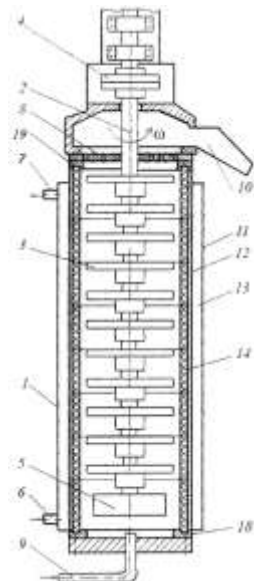


Рисунок 2.6 - Робочий циліндр бісерного млина

Для підвищення зносостійкості і збільшення ресурсу роботи циліндра бісерного млина використовується конструкція (рис. 2.6) [22]. Робочий циліндр бісерного млина містить зовнішню і внутрішню оболонки, підставку і кришку, а також систему вентилів, один з яких призначений для подачі хладагента в простір між зовнішньою і внутрішньою оболонкою, інший - для подачі у внутрішню оболонку компонентів фарби. У кришці є отвори для установки робочого ротора і для зливу продукту. Внутрішня оболонка забезпечена футеруванням у вигляді кільцевих елементів, виконаних з високоеластичного матеріалу. На одному торці кільцевих елементів виконані виступи, а на іншому торці - відповідні цим виступам поглиблення.

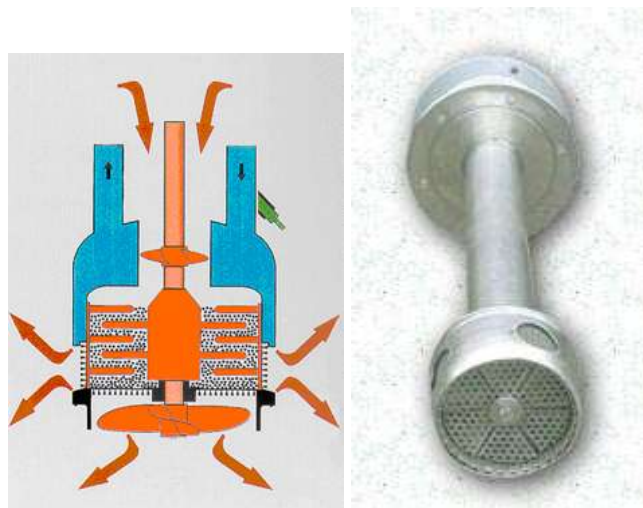


Рисунок 2.7 - Розмельна корзина

Конструкція занурюваного бісерна млина (рис. 2.7) ідентична конструкції дисольвера. Незалежно від конструкції занурюваних бісерних млинів, всі вони працюють за ідентичним принципом. Робочим органом млинів даного типу є розмельна корзина, занурена в пересувну діжу з пігментною суспензією. Диспергування пігментної пасти здійснюється безпосередньо в діжі, куди опускається розмельна корзина [20].

Існує два принципово різних варіанту виконання такого млина. У одному випадку вона є нерухомим закритим кожухом, усередині якого обертається вал, оснащений системою пальців. Через верхній отвір під дією відцентрової сили, що виникає при обертанні валу, суспензія пігменту поступає всередину корзини і дезагрегується при взаємодії з бісером. Для посилення ефекту диспергування на внутрішній поверхні розмельної корзини розташовані непорушно закріплені контрпальці. В іншому варіанті виконання корзина жорстко закріплена на валу і обертається разом з ним. Розташована усередині корзини мішалка наводить в рух бісер, при цьому у вузькому просторі розмельної корзини виникають потужні зсувні зусилля, що інтенсифікують процес подрібнення. На вертикальних бічних стінках розмельних корзин обох типів присутні вузькі щілини (сітка) для відділення продукту від бісеру. Диспергування пігментної пасти здійснюється в діжі, що використалася раніше для приготування суспензії пігменту на дисольвері, що дозволяє скоротити число діж. Така технологія дозволяє позбавитися від великого

числа насосів трубопроводів для перекачування пігментних паст, а розмір замісу залежатиме від об'єму діжі. До того ж такі бісерні млини дозволяють працювати з пастами пігментів, що важко диспергують. Варто відзначити і можливість швидкого і легкого замивання розмельної корзини машини шляхом занурення її в ємність з розчинником і, отже, простоти переходу з кольору на колір.

Огляд технології та обладнання, що використовується для виробництва ЛФМ дозволяє зробити наступні висновки:

- зменшення енерговитрат на виробництво ЛФМ вимагає не тільки перегляду технології, але й спрощення всієї технологічної лінії;
- підвищення ресурсу обладнання, зокрема бісерних млинів, може бути досягнуто лише за рахунок зміни конструктивної схеми та відмови від використання бісеру у якості робочого продукту;
- забезпечення принципів ресурсозбереження може бути досягнуто шляхом зменшення робочого об'єму технологічного обладнання, спрощення процесу його промивки.

Одним із шляхів забезпечення вказаних напрямків є впровадження технологічної лінії (рис. 2.8) з роторно-динамічним теплогенеруючим агрегатом-гомогенізатором.

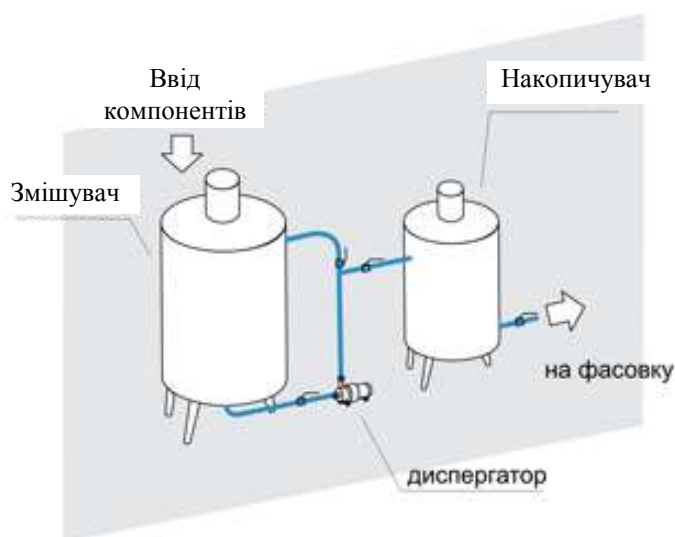


Рисунок 2.8 - Технологічна лінія з використанням ТГА

Лінія містить у складі мішалку (дисольвер) і диспергатор роторно-динамічного типу. Аналізуючи дві схеми виробництва ЛФМ можна зробити висновок, що ТГА-гомогенізатор дозволяє значно спростити технологічну лінію. Основним завданням є створення такого агрегату для роботи в проточному режимі. Необхідна ступінь диспергації повинна досягатися за один прохід рідини через агрегат.

Попередня оцінка можливості використання агрегатів типу ТГА для технологій виробництва лакофарбових матеріалів виконувалася у два етапи спільно з ТОВ "Імпульс" (м. Суми):

1) випробування вихрового ТГА-гомогенізатора (рис. 2.9) для виробництва пігментної пасту на основі двоокису титану та водного розчину уретанової дисперсії (додаток А).



Рисунок 2.9 – Багатофункціональний теплогенеруючий агрегат-гомогенізатор

Напівфабрикат було приготовано в умовах виробництва ТОВ "Імпульс" шляхом короткочасного перемішування за допомогою дисольвера. Рецептuru напівфабрикату складалася:

- Bayhidrol F-245 – 14 кг
- вода деіонізована – 7,35 кг
- двоокис титану (R0-2) – 25,00 кг

Протягом 24 годин перед лабораторними випробуваннями відбулося розшарування напівфабрикату з утворенням осадку.

Випробуванням відбувалися наступним чином: завантаження напівфабрикату у ємність ТГА-гомогенізатору, його запуск, забір проб через певні часові інтервали з наступним визначенням дисперсності та температури. Основні отримані результати наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Результати випробування вихрового ТГА-гомогенізатора для виробництва пігментної пасти

№ етапу	Опис процесу	Тривалість, хв.	Температура, °С	"перетир", мкм
1	Завантаження напівфабрикату. Попереднє диспергування у водному розчині	2,5	25	75-80
2	Диспергування у водному розчині	2,5	35-40	65-70
3	Диспергування у водному розчині	4,0	50	30-35
4	Диспергування у водному розчині	2,5	65	13-15

Таким чином була підтверджена можливість використання вихрового ТГА-гомогенізатора для виробництва ЛФМ на водній основі. Процес промивки здійснювався шляхом роботи агрегату на розчиннику протягом 5 хв. та вимагав менших витрат часу та розчинника у порівнянні з бісерним млином. Основним недоліком відповідно до поставлених задач вихрового ТГА-гомогенізатора є його циклічна дія та неможливість використання у проточному режимі.

2) другий етап передбачав використання ТГА-гідромлина (рис. 2.10) для виробництва емалі на лаковій основі та реалізовувався безпосередньо в умовах виробництва ТОВ "Імпульс". Реалізація випробувань відбувалася наступним чином: попереднє приготування робочого середовища відбувалося шляхом вводу необхідних рідких компонентів у діжу та їх змішування за допомогою агрегату. Процес приготування розчину складав 12 хв. Аналогічний процес, що реалізовується дисольвером, триває близько 45 хв.

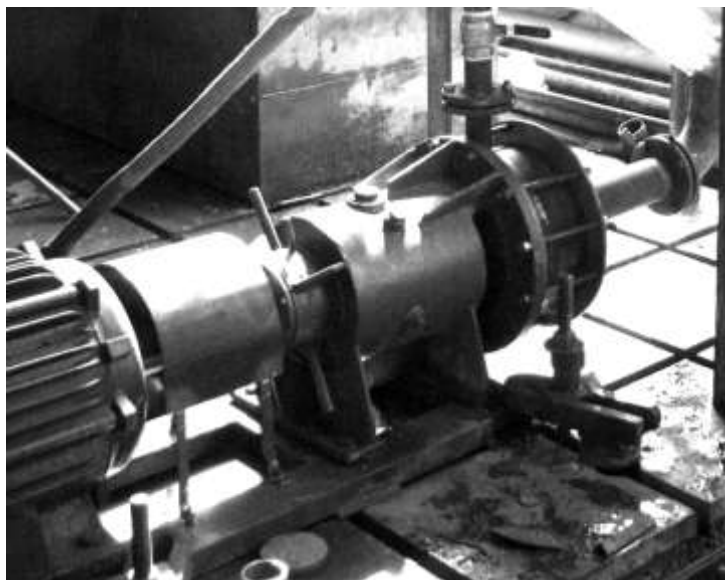


Рисунок 2.10 - Теплогенеруючий агрегат- гідромлин

Після приготування робочого розчину до нього додавався пігмент і без попереднього змішування робоче середовище проходило через агрегат. На виході визначалася дисперсність робочого середовища, що складала близько 30 мкм. Таким чином подрібнення відбувалося за один прохід, що дозволяє зробити висновок про можливість роботи ТГА в проточному режимі для технологій виробництва ЛФМ. На підставі другого етапу випробувань зроблено наступні висновки:

- для забезпечення необхідної якості продукту доцільно після додавання пігменту виконувати попереднє змішування за допомогою дисольвера з метою приготування однорідної суміші;
- за допомогою ТГА можливо реалізувати "перетир" пігменту до необхідного розміру за умови певної модернізації проточної частини;
- доцільно провести дослідження впливу показників робочого середовища (склад, густина, температура тощо) на енергетичні показники ТГА з метою отримання практичних рекомендацій;
- використання ТГА дозволяє в певній мірі знизити енерговитрати та забезпечити збереження сировини та часу при переході з кольору на колір.

2.3 Створення роторно-динамічного ТГА

Виходячи з поставлених задач та з урахуванням попередніх рекомендацій було виконано розробку роторно-динамічного ТГА для технологій виробництва лакофарбових матеріалів (рис. 2.11).

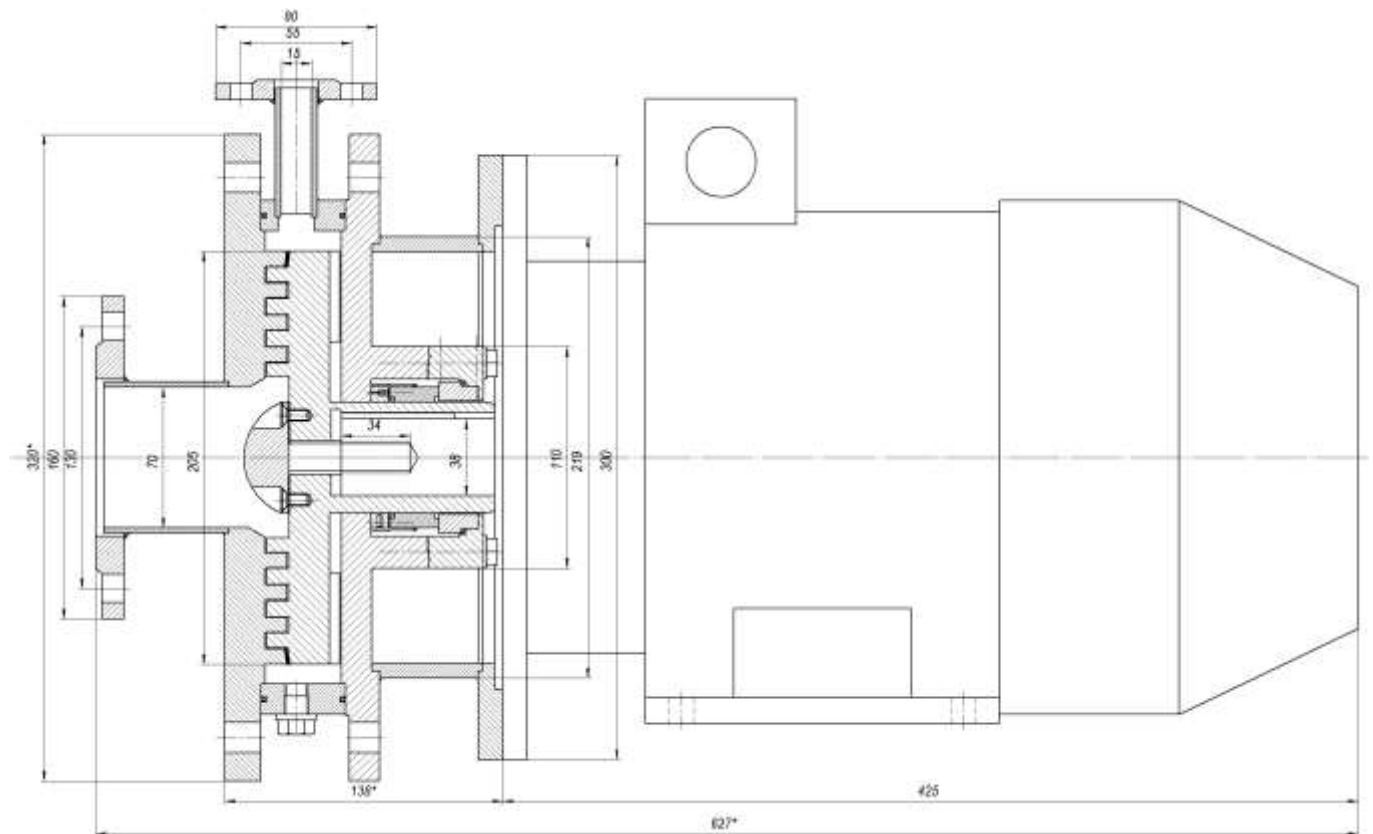


Рисунок 2.11 - Роторно-динамічний ТГА для виробництва ЛФМ

Агрегат розробляється під наступні параметри:

- продуктивність до 500 кг/годину;
- кінцева дисперсність ЛФМ 10 мкм;
- початкова дисперсність 200 мкм;
- забезпечення зрізаючого зусилля еквівалентного 20 м/с;
- прокачування ЛФМ – за допомогою додаткового насоса або при невисокій густині робочого середовища безпосередньо агрегатом.

Основною відмінністю агрегату, що розробляється від ТГА-гідромлина є відсутність першого ступеня для попереднього подрібнення твердої фази, зменшення зазорів між роторними та статорними елементами для забезпечення

більш якісного подрібнення, використання робочого колеса одностороннього входу у зв'язку з невисокою продуктивністю з метою спрощення конструкції, використання торцевого ущільнення для запобігання витоку рідини, використання консольної компоновки агрегату з метою спрощення розбори-зборки при промивці обладнання.

Проточна частина (рис. 2.12) агрегату складається з робочого колеса, що встановлюється безпосередньо на валу електродвигуна, та статорного апарату. Конструктивно вказані елементи являють собою систему коаксіальних виступів та пазів. Крім того на статорному апараті виконано радіальні пази, а на робочому колесі відповідні пази розташовані під кутом 15° . Така конструкція робить неможливим прохід робочого середовища з неподрібненим пігментом.

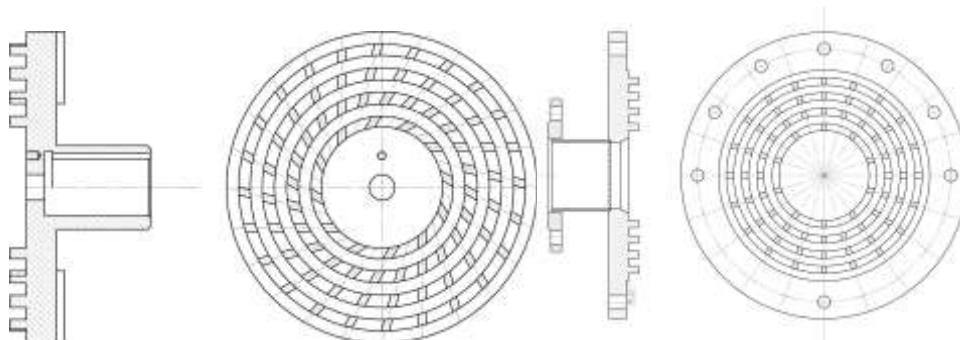


Рисунок 2.12 – Робоче колесо та статор

З тильної сторони робочого колеса містяться імпелери для зменшення осьового зусилля. Відвід робочого середовища здійснюється через кільцевий відвід. Монтаж статорних елементів до електродвигуна здійснюється за допомогою фонаря, що являє собою і корпус ущільнення.

Агрегат має наступний принцип дії. Робоче середовище подається на вхід агрегату. За рахунок відцентрової сили ЛФМ подається до проточної частини. Поетапне проходження продукту між виступами та пазами з зазором 0,3 мм забезпечує необхідне подрібнення пігменту. Після проходження проточної частини ЛФМ подається до відводу.

З використанням методики [23, 24] для попередньо спроектованих робочих органів та прийнятих режимних параметрів роботи ТГА було визначено потужність

кожного ступеня та агрегату в цілому. Вихідні дані та результати розрахунку наведено в табл. 2.2

Таблиця 2.2 - Вихідні дані та результати розрахунку роторно-динамічного ТГА

Параметри ступені	Ступені					
	I	II	III	IV	V	VI
Зовнішній діаметр ротора d , м	0,094	0,11	0,126	0,142	0,158	0,174
Ширина прорізів ротора b_p , м	0,008	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Ширина прорізів статора b_c , м	0,008	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Кількість прорізів ротора z_p	12	24	24	24	24	24
Кількість прорізів статора z_c	10	10	20	20	20	20
Відцентровий критерій Рейнольда $Re_{ц} \cdot 10^{-6}$	613611	840277	1102500	1400277	1733611	2102500
Критерій потужності k_N	0,97	0,86	0,60	0,48	0,39	0,33
Потужність i -ї ступені N_i , Вт	143,0	237,4	283,6	367,9	465,4	576,7
Потужність ТГА N , Вт	2074,4					

Наступним етапом вказаних робіт є виготовлення та випробування промислового зразка роторно-динамічного агрегату в умовах лабораторії кафедри прикладної гідроаеромеханіки з наступним впровадженням на ТОВ "Імпульс".

3 СТВОРЕННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО, РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

3.1 Результати інформаційного огляду

В умовах підвищення цін на енергоносії забезпечення конкурентоспроможності продукції потребує ґрунтовного аналізу енергоспоживання та впровадження енергозберігаючих заходів. Одним із процесів, що реалізується для більшості технологічних процесів харчових технологій [25, 26], є процес гомогенізації продукту. Він реалізується для таких продуктів, як молоко, кетчупи, пасти, майонези, соки, йогурти тощо і в значній мірі впливає на якісні характеристики продукту та його стійкість.

Аналіз конструкцій проведено у вигляді патентного і літературного огляду, в основу якого закладені принципи пошуку в пропонованих конструкціях позитивів, які можна було б використати в подальших розробках даного агрегату, і негативів, які необхідно по можливості уникати або ж зменшувати їхній прояв до мінімуму.

Проаналізуємо в послідовному порядку ряд роторних апаратів найбільш близьких по призначенню до гомогенізатора.

Розглянемо пристрої для гомогенізації молока і молочних продуктів. Вказана операція призначена для одержання однорідної структури кінцевого продукту з мінімальними розмірами дисперсної фази (жирових кульок і білкових тіл). Найчастіше цей процес здійснюється в клапанних гомогенізаторах.

Недоліком існуючих клапанних пристроїв для гомогенізації є висока енергоемність і металоємність. Ці недоліки обумовлені недосконалою організацією потоку оброблюваного середовища в клапанній щілині.

Розглянемо роторні імпульсні апарати (PIA) (рис. 3.1), які є ефективним обладнанням для багатофакторного імпульсного впливу на гетерогенну рідину з метою отримання стабільних, високодисперсних емульсій і суспензій, інтенсифікації процесів розчинення і екстрагування речовин, зміни фізико-хімічних параметрів рідини, деструкції молекулярних сполук. PIA використовуються для

обробки таких систем як «рідина - рідина», «рідина - тверде тіло» і «газ - рідина» за рахунок широкого спектру факторів впливу:

- механічна дія на частки гетерогенного середовища, що полягає в ударних та зрізаючих навантаженнях і контактах з робочими частинами РІА;
- гідродинамічний вплив, що виражається у великих зсувних напругах в рідині, розвинутої турбулентності, пульсаціях тиску і швидкості потоку рідини;
- гідроакустичний вплив на рідину здійснюється за рахунок дрібномасштабних пульсацій тиску, інтенсивної кавітації, ударних хвиль і нелінійних акустичних ефектів.

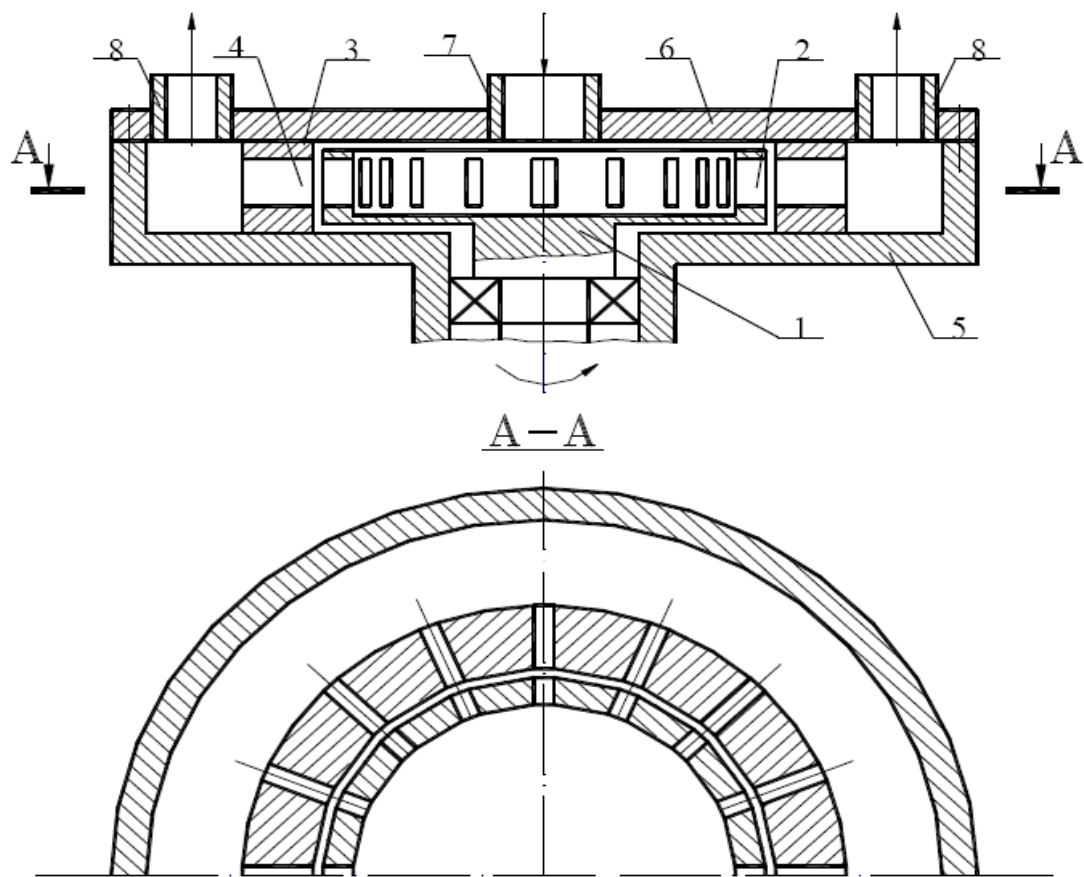


Рисунок 3.1 - Схема роторного імпульсного апарату

Стандартна схема РІА радіального типу показана на рис. 3.1. Принцип роботи апарату полягає в наступному. Оброблювана рідина подається під тиском або самопливом через вхідний патрубок 7 в порожнину ротора 1, проходить через

канали ротора 2, канали статора 4, робочу камеру, утворену корпусом 5 і кришкою 6 і виходить з апарату через вихідний патрубок 8.

При обертанні ротора, його канали періодично співпадають з каналами статора. Виходячи з каналів статора, рідина збирається в робочій камері й виходить через вихідний патрубок. В період часу, коли канали ротора перекриті стінкою статора, на поверхні ротора тиск збільшується, а при співпаданні каналу ротора з каналом статора тиск за короткий проміжок часу спадає і в результаті цього в канал статора розповсюджується імпульс тиску. Швидкість потоку рідини в каналі статора являє собою змінну величину. При розповсюдженні в каналі статора імпульсу надлишкового тиску, слідом за ним виникає короткочасний імпульс «від'ємного» тиску, так як поєднання каналів ротора і статора закінчилось, і подача рідини в канал статора відбувається тільки за рахунок «транзитної» течії з радіального зазору між ротором і статором. Об'єм рідини, яка входить в канал статора, прагне вийти з каналу, і інерційні сили створюють розтягуючі напруги в рідині, що спричинює кавітацію. Кавітаційні бульбашки зростають при пониженні тиску до тиску насичених парів оброблюваної рідини при даній температурі, і захоплюються або пульсують при збільшенні тиску в каналі статора. Частина кавітаційних бульбашок виходить в робочу камеру.

Акустична кавітація являє собою ефективний засіб концентрації енергії звукової хвилі малої густини в високу густину енергії, пов'язану з пульсаціями захоплюванням кавітаційних бульбашок. В фазі розрідження акустичної хвилі в рідині виникає розрив у вигляді порожнини, яка заповнюється насиченим паром даної рідини. В фазі стиску під дією підвищеного тиску і сил поверхневого натягу порожнина захоплюється, а пар конденсується на межі розділення фаз. Через стіни порожнини в неї дифундує розчинений в рідині газ, який потім піддається сильному адіабатичному стисканню. В момент захоплювання тиск і температура газу досягають значної величини (за розрахунковими даними до 100 МПа і 1000 °C). Після захоплювання порожнини в навколишній рідині розповсюджується сферична ударна хвиля, швидко затухаюча у просторі.

В зв'язку з тим, що швидкість потоку рідини в каналі статора велика і має

флуктації, потік має розвинену турбулентність. При обертанні ротора в зазорі між ротором і статором великі зсувні напруги. Робочі поверхні ротора і статора впливають на рідке гетерогенне середовище за рахунок механічного контакту, що приводить до великих зрізаючих і зсувних зусиль.

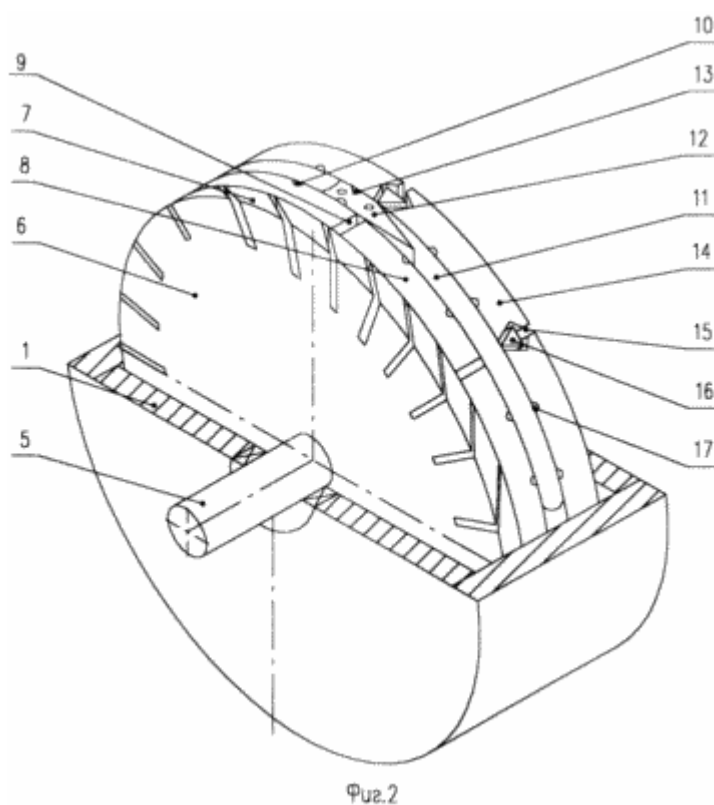


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд
роторного кавітаційного
апарату

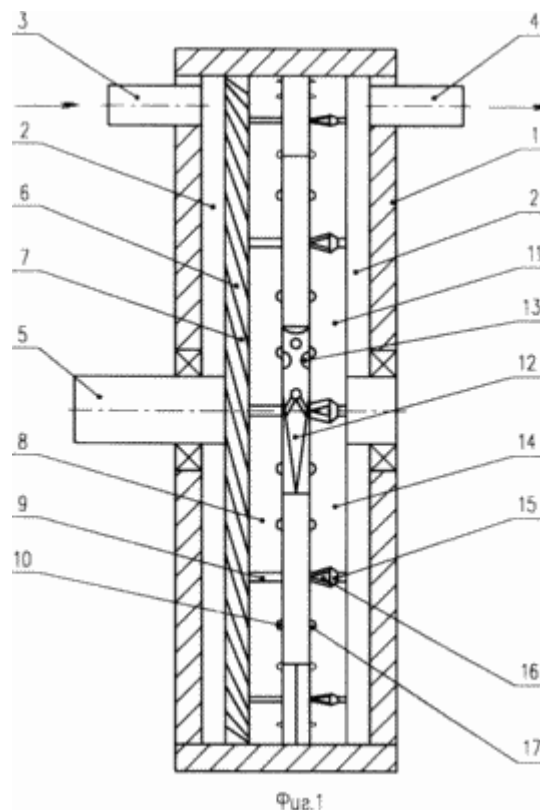


Рисунок 3.3 – Переріз роторного
кавітаційного апарату

Широкого застосування набув пристрій для створення штучної кавітації в рідких середовищах з метою використання виникаючих кавітаційних ефектів для інтенсифікації різних фізико-хімічних процесів [27] (рис. 3.2, 3.3). Апарат містить корпус, що утворює робочу камеру, в якій встановлені статор і на приводному валу ротор. Статор і ротор складаються з дисків. Перший від входу диск ротора забезпечений радіальними лопатками, що розташовані під кутом до його площини. Другий диск ротора, розміщений між дисками статора, забезпечений радіальними лопатками, передня частина яких виконана у вигляді клину, а задня – у вигляді

паралелепіеда з радіальними проточками на його бічних гранях. Диски статора мають прорізи. У прорізах другого диска статора встановлений kern трикутного перетину. Апарат дозволяє підвищити ефективність і продуктивність активації фізико-хімічних процесів, а також використовується для знезараження стічних і фекальних вод, дезактивації рідких радіоактивних відходів та отримання теплової енергії.

Даний роторний кавітаційний апарат складається з корпусу 1, що утворює робочу камеру 2 з вхідним 3 і вихідним 4 отворами, приводного валу 5, першого диска ротора 6 з радіальними лопатками 7, першого диска статора 8 з прорізами 9 і проточки 10, другий диску ротора 11 з радіальними ріжучими лопатями 12 і проточки 13, другого диска статора 14 з прорізами 15, Kern 16 і проточки 17.

Пристрій працює таким чином. При обертанні ротора 1 це перший диск 6 з лопатками 7, що представляє собою нагнітальне колесо осьового насоса, подає робочу рідину в обсяг робочої камери, обмежений статорних дисками 8, 14. Перший диск статора 8, що являє собою напрямний диск осьового насоса, запобігає закручуванню робочої рідини відносно осі симетрії пристрою, що виключає зменшення відносної швидкості ріжучих лопатей ротора і набігаючої на них рідини. Другий диск ротора 11, що обертається між статорних дисками 8, 14, своїми ріжучими лопатями 12 розсікає набігаючий потік рідини. За рахунок дії відомого в механіці ефекту клина, виникаючі у середовищі при обертанні ротора розривні напруги значно перевищують межу міцності рідини, тому на ріжучій кромці клину відбувається розрив суцільності рідини і на гранях клину утворюється велика кавітаційна каверна. Остання, взаємодіючи з радіальними проточками 10 і прорізами 15 в другому диску статора 14, дробиться на велику кількість дрібних кавітаційних бульбашок, які врешті-решт захоплюються в зазорі між плоскими гранями лопатей ротора 12 і статорних дисками 8, 14. Потужні кавітаційні ефекти, що виникають при захопленні, активують відповідні фізико-хімічні процеси в робочому середовищі.

Відома конструкція статичного пристрою для гомогенізації, що представляє собою ряд перфорованих перегородок вставлених у корпус [28], при чому розмір отворів у кожній наступній перегородці міняється від 3мм до 1мм.

Недоліком зазначеної конструкції є неможливість одержання заданої якості гомогенізації молока, на виході одержують великі 4...10мкм частки дисперсної фази.

Відомий пристрій [29] для гомогенізації, що містить корпус, з парами дисків, котрі чергуються, причому кожна пара містить один диск із великим числом (30...240 штук) отворів малого діаметра (0,1...0,3 мм) і іншої – із двома отворами 1,5мм у діаметрі. Розмір дисперсної фази на виході складає 0,88...2,58 мкм, він залежить від числа пар дисків і від розміру отворів малого діаметра.

Недоліком прототипу є складність і дорожнеча, зв'язані з необхідністю виготовлення 10...20 пар дисків з тонкими отворами діаметром (0,1...0,3 мм), а також недостатньо висока для молока ступінь дисперсності продукту.

Розглянемо пристрій для гомогенізації, що включає корпус з розміщеними усередині перфорованими пластинами, який відрізняється тим, що пластини щільно притиснуті одна до одної, а перфорація виконана так, що у зборі утворюється один чи декілька рядів отворів, кожний з яких являє лабіринтний канал. Перевага полягає у низькій металоємності пристрою і високій якості готової продукції.

Сутність конструкції пояснюється кресленнями (рис. 3.4).

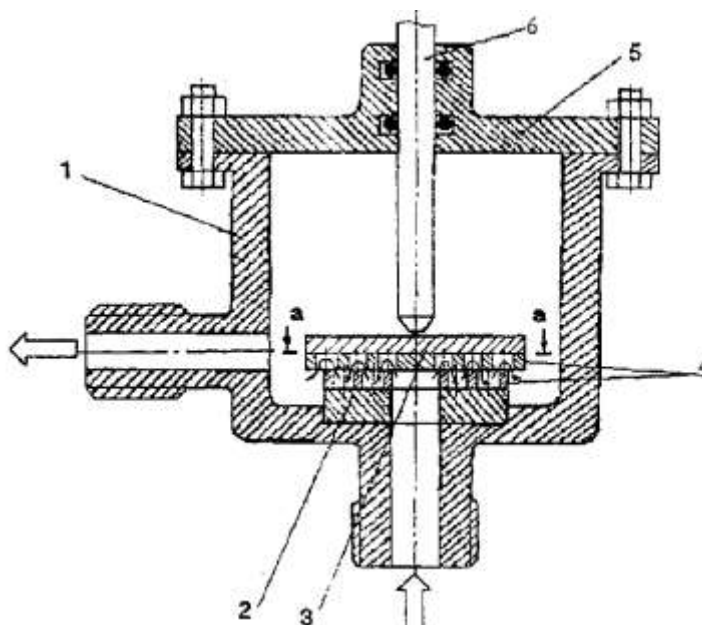


Рисунок 3.4 – Схема пристрою для гомогенізації у розрізі

На рис. 3.4 показана схема одного з варіантів пристрою для гомогенізації у розрізі. В корпусі 1 закріплена нижня підстава 2 і дві пластини 4, притиснуті за

допомогою верхньої підстави 3 натискним пристроєм 6, що проходить через кришку 5.

На рис. 3.5 показана схема розміщення радіально розташованих отворів (наприклад, круглих) у пластинах 4. В обох пластинах 4 отвори зміщені так, що при накладенні пластин вони перекривають один одного й утворюють суцільний лабіринтний канал з поперечним перерізом, який змінюється по довжині. Фіксація пластин 4 від взаємного переміщення по площині контакту здійснюється штифтами 7. На рис. 3.5 показані чотири ряди отворів, число рядів визначається продуктивністю, мінімальне число рядів - один.

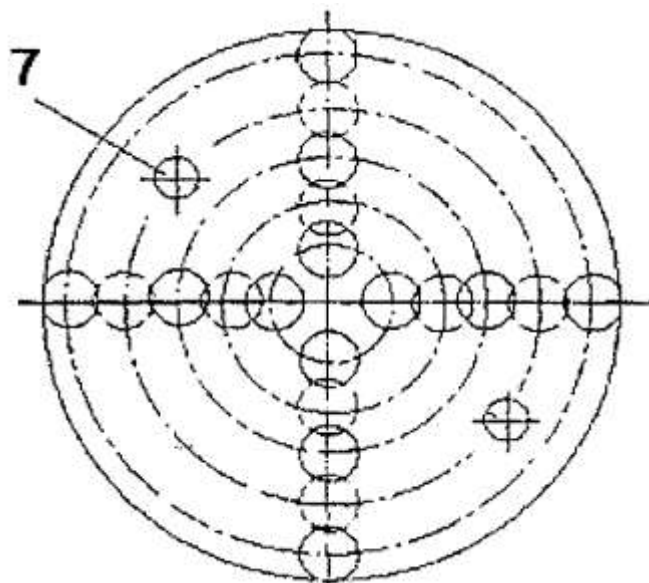


Рисунок 3.5 – Схема розміщення радіально розташованих отворів

Пристрій для гомогенізації працює таким чином. Продукт, котрий піддається гомогенізації, подають у корпус 1 (напрямок показаний стрілками) через центральний отвір у нижній підставі 2. Потім потік проходить по радіальних каналах, утворених рядами отворів у пластинах 4. Оброблюване середовище, проходячи по каналах перемінного перетину, багаторазово змінює величину і напрямок швидкості, а, крім того, піддається впливу пульсацій, викликаних вихровими течіями в камерах розширення. Нестационарність плинtimer приводит до

розпаду часток дисперсної фази на дрібні фракції. Гомогенізований продукт виходить із пристрою через вихідний патрубок корпусу 1.

Відомий відцентровий гомогенізатор (емульсор) [30], що містить ротор поміщений безпосередньо на валу електродвигуна і являє собою диск із трьома ексцентрично розташованими на ньому кільцями з дрібними отворами в їхніх стінках. Ротор розташований у кожусі, що має патрубок для виходу емульсії. На внутрішній стороні кришки емульсора, що прикріплюється до його корпусу затисками виконані три ексцентрично розташованих кільця, що при установці кришки розташовуються між кільцями ротора.

Недоліком цього відомого гомогенізатора є низький ступінь гомогенізації рідини, що обробляється і несумісність таких операцій як перекачування і гомогенізація.

Розглянемо детальніше насос-гомогенізатор (рис. 3.6), що має корпус із вхідним і напірним патрубками, рухомий і нерухомий ротори, оснащені лопатками з прорізами, який відрізняється тим, що рухомий ротор складається з основного, покривного і лопатевого дисків, причому лопаті лопатевого диска мають криволінійну форму, а нерухомий ротор сполучений з корпусом, на внутрішніх стінках якого по обидві сторони лопатевого диска виконані прорізи, причому на всмоктувальній периферійній частині корпусу додатково встановлені лопатки, спрямовані по ходу обертання рухливого ротора. Виступи нерухомого ротора розташовані в шаховому порядку щодо прорізів лопатевого диска.

Переваги даного пристрою:

- забезпечення руйнування жирових кульок (для рідких молочних продуктів), що в свою чергу збільшує термін зберігання продукту;
- поєднання двох операцій: перекачування та гомогенізація;
- низькі енерговитрати.

Принцип дії відцентрового насоса-гомогенізатора такий. При обертанні рідина з вхідного патрубка 2 поступає через осьове підведення 9 в міжлопатеві канали 8, де внаслідок взаємодії з лопатевим ротором 4 починають працювати відцентрові сили:

тиск по мірі віддалення від центра обертання збільшується і утворюється направлений потік рідини від центра рухливого ротору 4 до периферії.

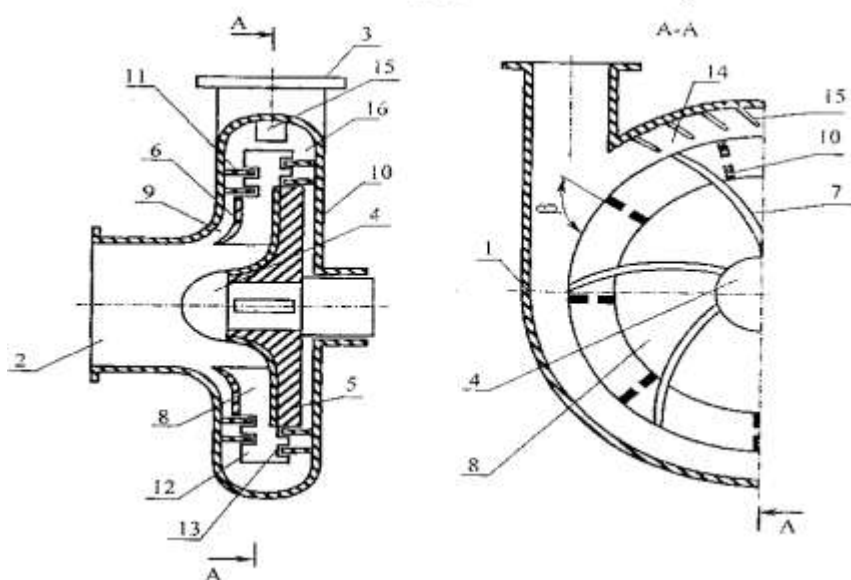


Рисунок 3.6 – Конструктивна схема насоса-гомогенізатора

У закритій частині міжлопатевих каналів 8 рідина здійснює складний рух: обертається разом з рухливим ротором 4 (переносний рух), рухається вздовж лопатей 12 лопатевого диска 7 (відносний рух). Крім того, через прояв сил інерції в міжлопатевих каналах 8 має місце «відносний вихор», що міняє величину переносної, а значить, і абсолютної швидкості. У відкритій частині міжлопатевих каналів 8 рідина виходить з торців рухливого ротору 4 в порожнину корпусу 1, продовжуючи обертатися спільно з лопатями 12 рухливого ротору 4, гальмуватися об лопатки 14, які розташовані в усмоктувальній периферійній частині 15 корпусу 1 і встановлені виступи 11, і відстає від лопатей 12 рухливого ротору 4, що обертаються. Частина загального потоку повертається в міжлопатеві канали 8 рухливого ротору 4 через різницю тиску на різних відстанях від центра обертання, а основна частина потоку рідини через циліндричний відвід 16 надходить у напірний патрубок 3.

Внаслідок гальмування рідини об внутрішні поверхні корпусу 1 та лопатки 14, які розташовані в усмоктувальній периферійній частині 15 корпусу 1, зміни відстані між торцевими поверхнями лопатей 12 рухливого ротору 4, що обертаються і

торцевими поверхнями лопатей 12 (прохідного перетину) відбуваються періодичні високочастотні коливання витрат і тиску в рухливому роторі 4, що викликає місцеві гідравлічні удари та явище кавітації, які руйнують жирові шарики. Таким чином, у проходженні через відцентровий насос-гомогенізатор потік молока постійно обробляється.

Більшість діючих виробництв реалізують вказаний процес за допомогою плунжерних гомогенізаторів [31] (рис.3.7). Вказані пристрої являють собою трьохплунжерний насос та регульоване голчате сопло. За рахунок створення певного тиску, що залежить від типу робочого середовища та його характеристик, та наступним його дроселюванням на соплі відбувається гомогенізація. Головною перевагою таких агрегатів є простота робочого процесу та можливість легкого регулювання (згідно напрацьованих рекомендацій) в залежності від характеристик робочого середовища. Недоліками плунжерних гомогенізаторів є високі масогабаритні характеристики та енерговитрати, а також неможливість регулювання подачі.

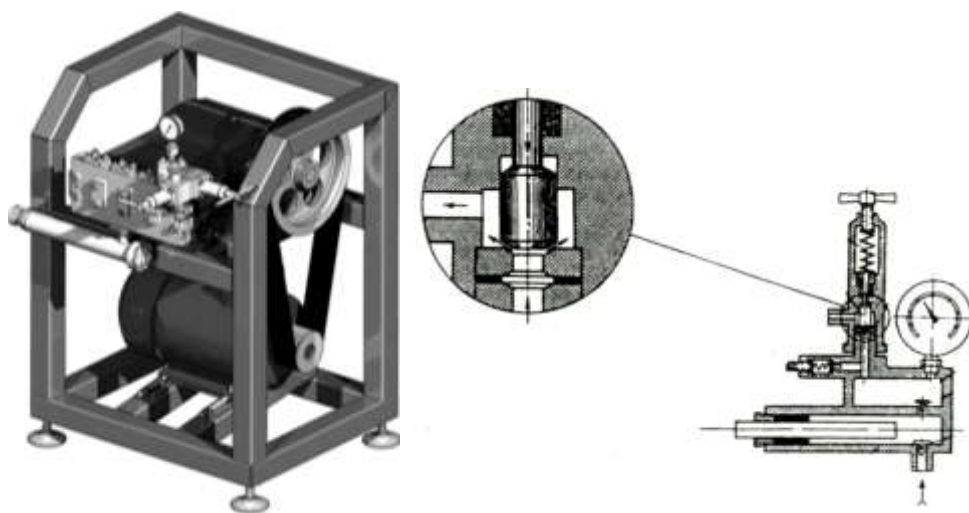


Рисунок 3.7 - Плунжерний гомогенізатор та гомогенізуюча головка

3.2 Особливості конструктивної схеми ТГА-гомогенізатора та визначення його характеристик

Одним із можливих шляхів усунення вказаних недоліків є використання роторно-динамічних гомогенізаторів (рис.3.8) [7, 8]. Вказані агрегати являють

собою машину динамічного принципу дії, в якій гомогенізація робочого середовища відбувається за рахунок багаторазового поетапного проходу робочого середовища через зазори між статорними елементами та робочим колесом, що обертається з частотою 3000 об/хв.

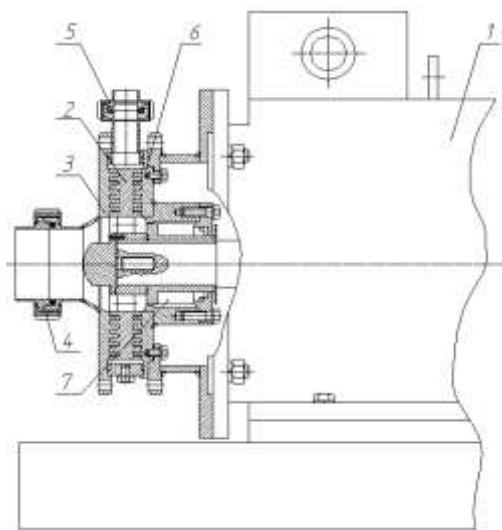


Рисунок 3.8 – Роторно-динамічний гомогенізатор

Конструктивно робоче колесо являє собою диск з коаксіальними циліндричними виступами, що входять у прорізи статорних елементів (рис. 3.9). На статорах виконані радіальні прорізи для більш активної гомогенізації потоку. Робоче колесо має подібні похилі пази, що унеможлиблює повне відкриття каналу та прохід негомогенізованого продукту.



Рисунок 3.9 – Робоче колесо, передній та задній статори

Таким чином потік підводиться у осьовому напрямку до робочого колеса, де розділяється на два. Поетапно проходячи між роторними та статорними елементами відбувається гомогенізація продукту у зазорах агрегату. Враховуючи те, що робоче колесо є двопоточним, для спрощення агрегат виконано моноблочної конструкції.

Випробування агрегату проводилися у два етапи:

- дослідження насосної характеристики агрегату виконувалося на базі кафедри прикладної гідроаеромеханіки. Експериментальна частина передбачала два етапи випробувань (з шириною пазів 5 мм та 8 мм, відповідно нижні та верхні характеристики) (рис 3.10).

Зміна напрямку обертання ротора супроводжується певною зміною параметрів агрегату (до 10%), що пояснюється похилими пазами робочого колеса.

Другий етап дослідження передбачав випробування гомогенізатора в умовах діючого виробництва ТОВ «Добряна», м.Суми. У якості робочого середовища для випробувань було обрано молоко 2.7% жирності. Основною задачею гомогенізатора при роботі на вказаному робочому середовищі є подрібнення жирових кульок з метою зниження розшаровування молока. Випробування проводилися на різних режимах (2, 5, 9 м³/годину). На кожному режимі виконувався забір проб продукту після гомогенізації. Результати випробувань визначалися згідно нормативної інструкції в лабораторії ТОВ «Добряна» та додатково аналізувалися за допомогою мікроскопа з кратністю збільшення 480 разів.

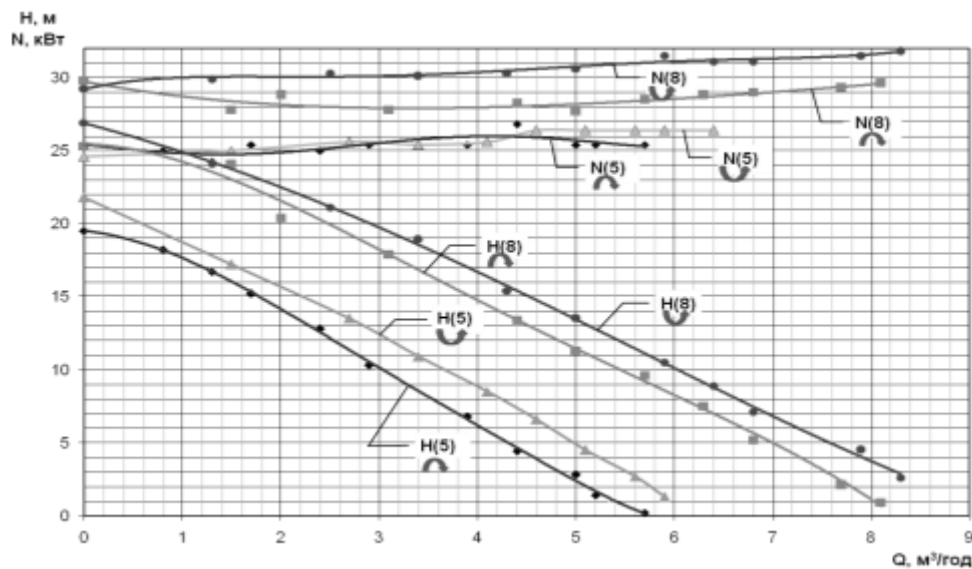


Рисунок 3.10 – Експериментальні характеристики роторно-динамічного гомогенізатора

Огляд проб за допомогою мікроскопу (рис. 3.11) дозволив зробити наступні висновки. Молоко, що надходить до гомогенізатора має жирові кульки з розміром близько 20 мкм. При роботі гомогенізатора на мінімальній продуктивності ($2 \text{ м}^3/\text{годину}$) жирові кульки мають домінуючий розмір 4,2 мкм при максимальному розмірі 8,4 мкм. Але протягом певного часу відбувається групування жирових кульок з утворенням жирових смуг.

При продуктивності гомогенізатора $5 \text{ м}^3/\text{годину}$ відбувається подрібнення жирових кульок до 5,4 мкм при їх максимальному розмірі 9,6 мкм. Протягом часу спостерігається стійкість робочого середовища.

При продуктивності $9 \text{ м}^3/\text{годину}$ подрібнення жирових кульок відбувається до розміру 9 мкм при максимальному розмірі 12 мкм.

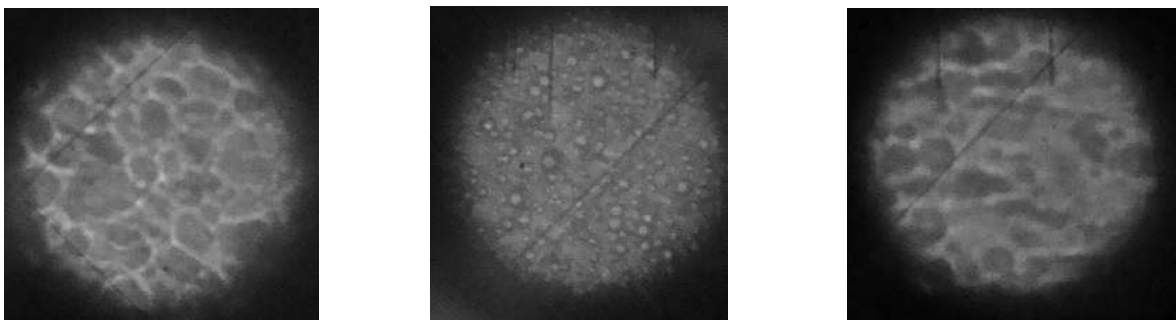


Рисунок 3.11. Вигляд жирових кульок під мікроскопом при продуктивності
2 5 9 $\text{м}^3/\text{годину}$

Лабораторні дослідження дозволили отримати наступні результати. Проба отримана при продуктивності 2 м³/год має підвищене розшарування та не відповідає нормативним вимогам. При продуктивності 5 та 9 м³/год результати повністю відповідають нормативним вимогам (6,9% при регламентованому показнику 7%). Незадовільність результатів на низькій продуктивності агрегату можна пояснити тим, що при тонкому подрібненні жирових кульок відбувається їх наступне групування.

Проведені випробування підтвердили можливість використання роторно-динамічного гомогенізатора для деяких харчових технологій. Питанням, що потребує подальшого вивчення, є визначення механізму регулювання роботи гомогенізатора в залежності від характеристик робочого середовища.

У порівнянні з плунжерними гомогенізаторами роторно-динамічний має значно менші габаритні розміри та значно меншу потужність (рис.3.12). На сьогоднішній день впроваджено три технологічні лінії з ТГА-гомогенізатором для технології виробництва твердих сирів на ТОВ «Моліс» (Додаток В).



Рисунок 3.12 - Роторно-динамічний та плунжерний гомогенізатори в умовах
ТОВ «Добряна»

4 МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧОГО АГРЕГАТУ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ДЛЯ КОРМОПРИГОТУВАННЯ У ТВАРИННИЦТВІ

4.1 Передумови модернізації агрегатів ТГА для кормоприготування у тваринництві

Важливою задачею, що викликає зацікавленість з боку науки та практичного застосування ТГА, є прогнозування необхідного перерозподілу між процесами, які відбуваються у машині. Цікавим є обґрунтована і зрозуміла керованість процесами, природа яких є досить складної і до кінця не вивченою. Відповідь на це запитання можливо отримати шляхом уявлення фізики кожного з процесів, пояснення їх проходження, а також дослідження впливу кожного з них один на одного [32]. Хоча б часткове вирішення цього питання дає можливість більш широкого застосування ТГА.

На сьогоднішній день стан дослідження теплогенеруючих агрегатів можна представити як теоретичними розробками так і практично діючими машинами, які були створені на кафедрі прикладної гідроаеромеханіки Сумського державного університету. Одним із таких напрямків є ТГА для кормоприготування у тваринництві (рис. 4.1).

Агрегат призначений для кормоприготування в умовах тваринницьких комплексів сільськогосподарських підприємств і може використовуватися за наступними напрямками [2, 3]:

- приготування соєвої суспензії (молока) - приготування соєвої суспензії агрегатом ТГА виконується циклічно (цикл приготування триває приблизно 60 хв.). Суть технології, що реалізується агрегатом, полягає в подрібненні бобів сої у рідкому середовищі з одночасним інтенсивним перемішуванням та підігрівом продукту за рахунок сил тертя до температури 105-110°C;

- приготування рідких кормових сумішей – ТГА дозволяє виконувати подрібнення зернових культур у рідкому середовищі з одночасним перемішуванням та

підігрівом суміші до необхідної температури (50-60°C). Приготування корму виконується циклічно (20-25 хв.) при співвідношенні мас води і сухого зерна 3:1. Можливе приготування рідких кормів із зерносумішей (пшениця, ячмінь, горох, кукурудза, тощо) із додаванням меляси, різноманітних добавок;

- **нагрів води** - перевагою ТГА при використанні для цього напрямку є відсутність нагрівальних елементів (ТЕНів).

Таблиця 4.1 - Параметри агрегатів ТГА

Назва параметру	Типорозмір			
	ТГА-1М	ТГА-1	ТГА-2	ТГА-3
Потужність агрегату, кВт	3	7.5	15	30
Об'єм резервуара, л	20	50	100	200
Габаритні розміри, м	0,82x0,9x1,2	0,82x0,9x1,2	0,7x0,7x2	1,1x1,3x1,7
Продуктивність при готуванні, кг/год: соевої суспензії рідких кормових сумішей	20 40-50	50 125-150	100 250-300	200 500-600
Кількість сухої сировини при готуванні, кг: соєвої суспензії (молока) рідких кормових сумішей	4,5 до 9	11 до 15	22,5 до 30	45 до 60
Кількість обслуговуючого персоналу, чол.	1			

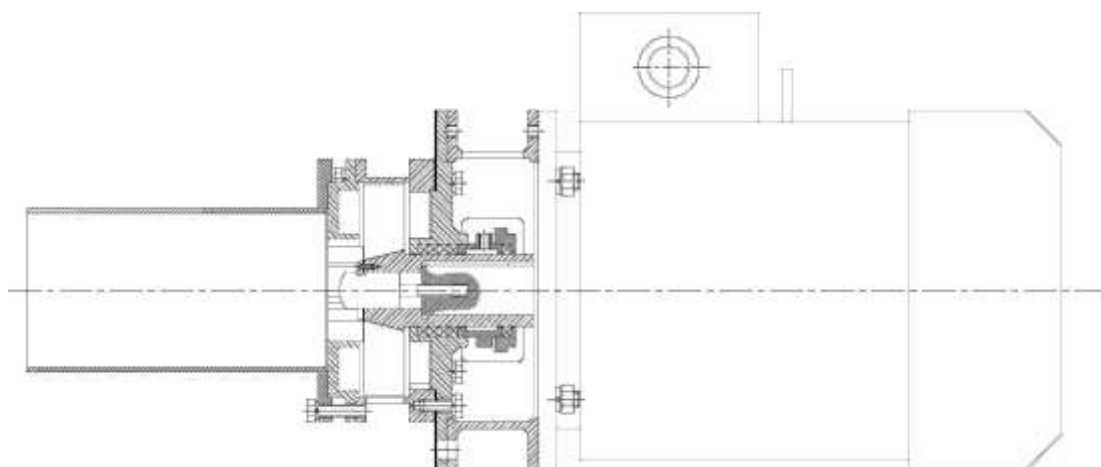


Рисунок 4.1 – Проточна частина ТГА-2

Конструкція агрегату дозволяє використовувати його для реалізації однієї з вказаних технологічних операцій або їх комбінації за циклами. Вибір необхідного режиму виконується оператором шляхом встановлення на блоці системи автоматичного керування необхідної температури теплової обробки (рис. 4.2).



Рисунок 4.2 – Система автоматичного керування ТГА-2

Система автоматичного керування виконує й ряд захисних функцій:

- захищає електродвигун від коротких замикань, недопустимих перевантажень, обриву або перекосу фаз, контролює стан його ізоляції;
- автоматично вимикає двигун при досягненні заданої температури нагріву робочого середовища.

На сьогоднішній день створено типорозмірний ряд вказаних агрегатів (табл. 4.1) та реалізується дрібносерійне виробництво агрегатів ТГА та впровадження в роботу тваринницьких комплексів. На території України діє більше 30 зразків. Здебільшого (близько 70%) агрегатів використовуються для виробництва соєвої суспензії (молока). Поряд з цим набуває актуальності виробництво рідних кормових сумішей. Основним недоліком ТГА для широкої реалізації вказаної технології є низька продуктивність. Це пояснюється тим, що найбільший акцент при розробці агрегату було зроблено на процес нагріву (подрібнення сої гарантовано відбувалося протягом циклу, що сягав 60 хв.). Тривалість циклу при виробництві зернових сумішей визначалася за умов повного подрібнення зерна (30-35 хв.). Зацікавленість ряду сільськогосподарських підприємств саме в останній технології потребує модернізації проточної частини ТГА з метою більш активної реалізації процесу подрібнення.

За таких умов було поставлено наступні науково-практичні задачі:

- модернізація проточної частини ТГА з метою інтенсифікації процесу гідродинамічного подрібнення при тих же режимних параметрах;
- забезпечення максимальної уніфікації нової конструктивної схеми та раніше розроблених ТГА з метою мінімізації витрат на виробництво;

- дослідження структури течії робочого середовища та поля тисків в модернізованій проточній частині.

Механізм подрібнення зернових культур має наступну особливість. Попереднє подрібнення зерна (на 2-3 частинки) з точки зору енерговитрат має такий же рівень як і подальше подрібнення зерна до більш дрібних частинок. Виходячи з цього конструктивну схему агрегату доцільно організувати таким чином, щоб умовно поділити процес попереднього та тонкого подрібнення.

У якості аналогу для виконання поставлених задач можна навести ТГА-гідромлин для приготування зернового замісу в умовах спиртових заводів [1].

4.2 Опис модернізованої конструкції проточної частини

Реалізація поставлених задач була здійснена на базі агрегату ТГА-2, як на обладнанні, що здобуло найбільшого розповсюдження. Для виконання більшого ряду ефективних задач пов'язаних з подрібненням та нагрівом робочої суміші виникла ідея поєднання нагріваючих можливостей ТГА-2 з показниками подрібнення твердої фази ТГА-гідромлин.

Для вирішення цієї задачі на кафедрі прикладної гідроаеромеханіки Сумського державного університету була розроблена принципово нова конструктивна схема ТГА, яка поєднує вихрову проточну частину ТГА з роторно-динамічною проточною частиною ТГА-гідромлина (рис.4.3). Для уніфікованого виробництва нова проточна частина розроблялася максимально наближеною до базової конструкцію ТГА-2 (відмінними є лише робоче колесо та передня кришка).

Основною відмінністю розробленої конструктивної схеми від існуючих аналогів є те, що двофазне робоче середовище засмоктується через патрубок та надходить до робочого колеса. За рахунок 8 лопатей середовище набуває відцентрового руху та надходить до ступені грубого помолу. Дана частина являє собою конічні жорнова з великою кількістю зубців. Зазор між роторним та статорним елементами складає 1-1.5 мм. Частково подрібнене середовище надходить до ступені тонкого помолу. Цей процес реалізується за рахунок

лабіринтного зазору, що складає 0.5 мм. На виході розташовані елементи, що надають робочому середовищу вихрового руху та забезпечують певний підігрів рідини.

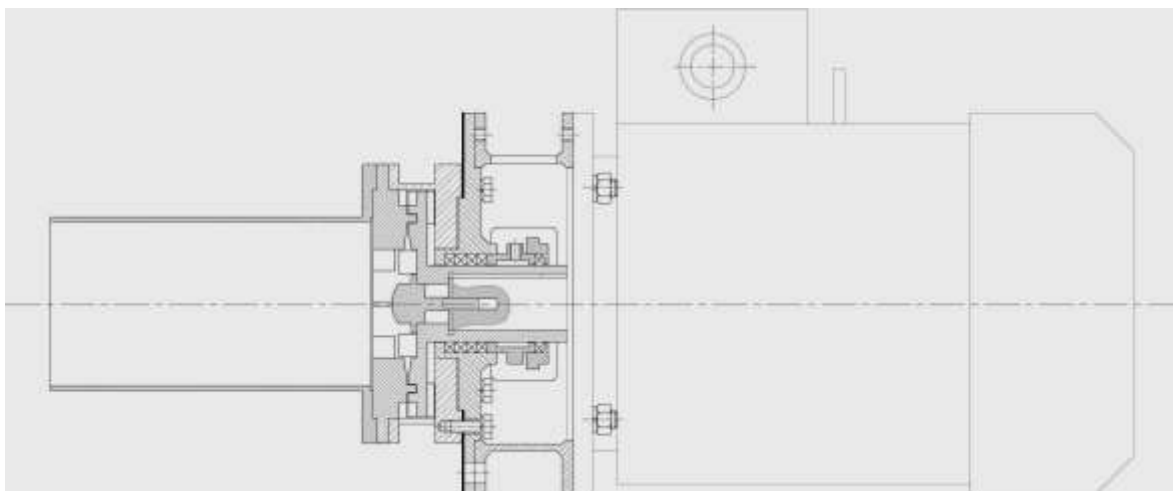


Рисунок 4.3 – Проточна частина ТГА-К

На рисунку 4.4 зображена просторова модель роторної та статорної частини ТГА-К.

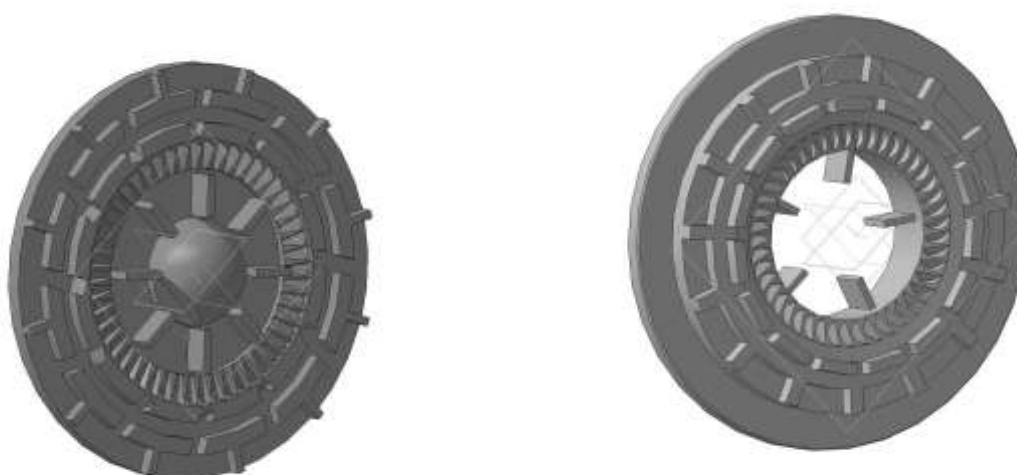


Рисунок 4.4 – Роторна (а) та статорна (б) частини ТГА-К

4.3 Розрахунок енергетичних параметрів модернізованої проточної частини

Рівняння енергетичного балансу для визначення потужності має вигляд

$$N = N_k + N_{T1} + N_{T2} + N_m,$$

де N_k – потужність, необхідна для надання кінетичної енергії рідині, яка знаходиться в обертовому роторі;

N_{T1} – потужність, яка витрачається на подолання сил тертя в радіальному зазорі;

N_{T2} – потужність, яка витрачається на подолання сил тертя в осьовому зазорі;

N_m – потужність, необхідна для подолання сил тертя в підшипниках, ущільненнях і т.п. (механічні втрати в конструкції роторного апарату).

Вираз для N_k записуємо у вигляді

$$N_k = 0,5\rho Q(\omega^2 R_1^2 + v^2),$$

де ρ – густина рідини, кг/м³;

Q – витрата оброблюваного середовища через агрегат, м³/с;

ω – кутова швидкість ротора, с⁻¹;

R_1 – зовнішній радіус ротора, м;

v – радіальна складова швидкості потоку в каналі ротора, м/с.

В існуючих конструкціях апаратів зазвичай $\omega R_1 \gg v$, тому вираз перетвориться до вигляду

$$N_k = 0,5\rho Q\omega^2 R_1^2.$$

Як зазначено в роботах [12, 13], значна частина енергії дисипується (в основному в тепло) в радіальному зазорі між ротором і статором. Потужність, що

витрачається на подолання тертя в зазорі, визначається наступним чином. Згідно з законом Ньютона сила внутрішнього тертя в радіальному зазорі

$$T = \mu F \frac{\partial u}{\partial r} \text{ при } r = R_2,$$

де μ – динамічна в'язкість, Па·с;

$\frac{\partial u}{\partial r}$ – градієнт швидкості, с⁻¹;

F – площа поверхні тертя, м²;

$R_2 = R_1 + \delta$ - внутрішній діаметр статора, м.

Момент тертя

$$M = TR_2,$$

тоді потужність, що дисипується

$$N_{T1} = M\omega.$$

Градієнт швидкості $\frac{\partial u}{\partial r}$ визначається з використанням рівнянь Нав'є-Стокса і нерозривності для плоскої течії ньютонівської рідини в циліндричній системі координат (r, φ, z) . Рівняння для визначення окружної складової швидкості для стаціонарної течії при граничних умовах $u = \omega R_1$ при $r = R_1, u = 0$ при $r = R_2$ має наступний вигляд:

$$u = \frac{\omega R_1^2 R_2^{Re+2}}{R_2^{Re+2} - R_1^{Re+2}} \cdot \frac{1}{r} - \frac{\omega R_1^2}{R_2^{Re+2} - R_1^{Re+2}} \cdot r^{Re+1},$$

де Re – критерій Рейнольдса, який визначається виразом $Re = vR_1/\nu$;

ν – масштаб радіальної складової швидкості; ν - кінематична в'язкість середовища, м²/с.

Диференціюванням рівняння отримаємо градієнт окружної швидкості

$$\frac{\partial u}{\partial r} = \frac{\omega R_1^2 R_2^{Re} (Re + 2)}{R_2^{Re+2} - R_1^{Re+2}} \text{ при } r = R_2.$$

Остаточно потужність, яка витрачається на подолання сил тертя в радіальному зазорі

$$N_{T1} = \frac{2(Re + 2)\pi h \mu \omega^2 R_1^2 R_2^{Re+2}}{R_2^{Re+2} - R_1^{Re+2}}.$$

Визначаємо втрати потужності в зазорі між торцем ротора і корпусом. Згідно закону Ньютона елементарна сила тертя

$$dT = \mu \frac{\partial u}{\partial z} 2\pi r dr \text{ при граничних умовах } z = 0.$$

Використовуючи результати рішення задачі Кармана-Кохрана, викладені в роботі [5] і уточнені в роботі, окружну складову швидкості потоку в осьовому зазорі запишемо у вигляді

$$u = \omega r G(\varepsilon),$$

$$\varepsilon = z \sqrt{\omega/\nu}$$

де $G(\varepsilon)$ - безрозмірна окружна швидкість рідини.

Елементарна сила тертя

$$dT = \mu \frac{du}{d\varepsilon} \frac{d\varepsilon}{dz} 2\pi r dr.$$

Провівши певні перетворення, отримуємо

$$dT = 2\pi\omega^{3/2}v^{1/2}\rho r^2 G' dr \text{ при } \varepsilon = 0.$$

Момент тертя в осьовому зазорі

$$M = \int_{R_3}^{\kappa_1} 2\pi\omega^{3/2}v^{1/2}\rho r^3 G' dr \text{ при } \varepsilon = 0.$$

де R_3 - конструктивний радіус, м.

В роботі [5] аналітично визначена похідна безрозмірної окружної швидкості на диску, що обертається

$$G' = 0,616 \text{ при } \varepsilon = 0.$$

Обчисливши інтеграл, підставимо його і значення безрозмірної окружної швидкості у вираз, і після перетворень отримаємо залежність для визначення втрат потужності в осьовому зазорі

$$N_{T2} = 0,308\pi\omega^{3/2}v^{1/2}\rho(R_1^4 - R_3^4).$$

Остання складова потужності фактично характеризує механічний ККД роторного апарата. Аналізуючи існуючі конструкції, можна орієнтовно записати

$$N_m = (0,05 \div 0,07)(N_k + N_{T1} + N_{T2}).$$

4.4 Розрахунок проточної частини ТГА-К шляхом розрахункового моделювання потоку рідини

Враховуючи складність конструктивної схеми проточної частини (об'єднання відцентрової частини, жорнов та вихрової частини) досить складно провести математичне моделювання робочого процесу та отримати залежність потужності агрегату від обраних конструктивних та режимних параметрів. За таких умов було зроблено спробу розрахункового моделювання робочого процесу в програмному комплексі.

На основі попередніх експериментальних обираємо наступні вхідні параметри розрахунку:

$$Q=10\text{м}^3/\text{год};$$

$$H=15\text{м};$$

$$\Delta T=10^0\text{C};$$

$$N=3000\text{об/хв.}$$

Основні етапи розрахунку:

- створення розрахункової області – просторової моделі об'єму рідини в проточній частині агрегату (рис.4.5). Модель будується згідно геометричних розмірів ротора та статора ТГА-К;

- розбиття розрахункової області на окремі елементи тетраїдної форми та завдання початкових параметрів розрахунку: вхід потоку, вихід потоку, тверді стінки;

- граничні умови – прийняття величини подачі, напору. Визначення стінки, яка обертається (роторна частина) на введення її кількості обертів. Вибір робочої рідини та умов при яких вона протікає;

- безпосередній розрахунок програмним комплексом;

- візуалізація потоку рідини, визначення полів швидкостей та розподіл тиску по розрахунковій області. Даний етап розрахунку дає змогу визначити крутний момент на роторі та розрахувати потужність.

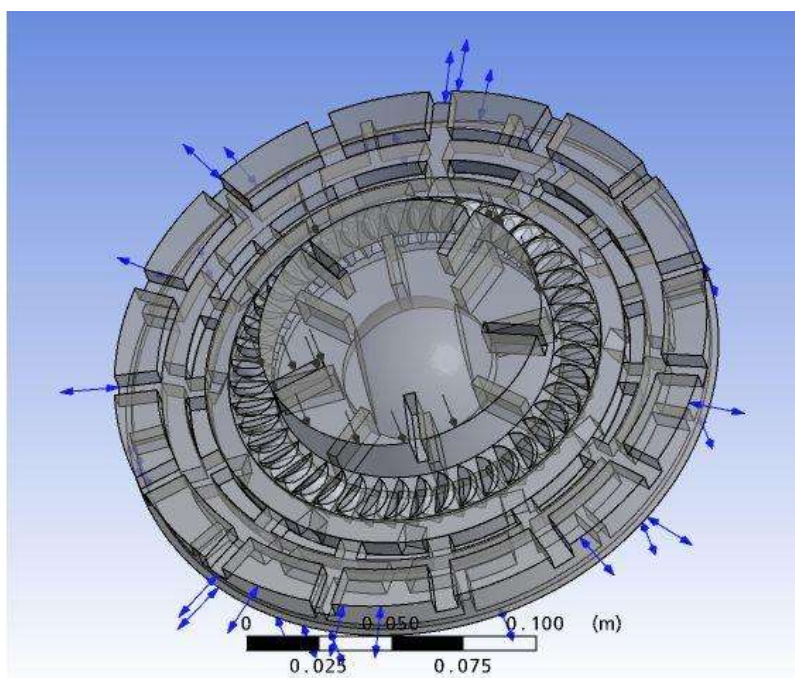


Рисунок 4.5 – Розрахункова область ТГА-К

При моделювання потоку рідини в проточній частині ТГА-К отримали візуалізацію розміщення ліній току (рис.4.6) та градієнт температури рідини по радіальному напрямку ротора (рис.4.7). Обчислили крутний момент на роторі та вектори абсолютної швидкості рідини.

Кожна лінія току розфарбована по приросту внутрішньої енергії (тобто по підвищенню температури).

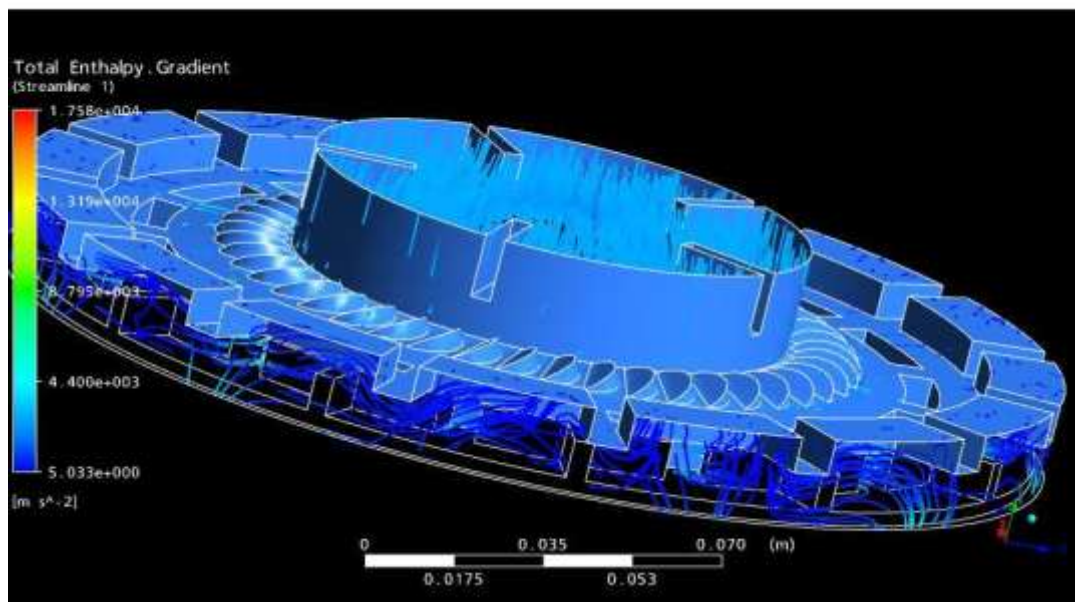
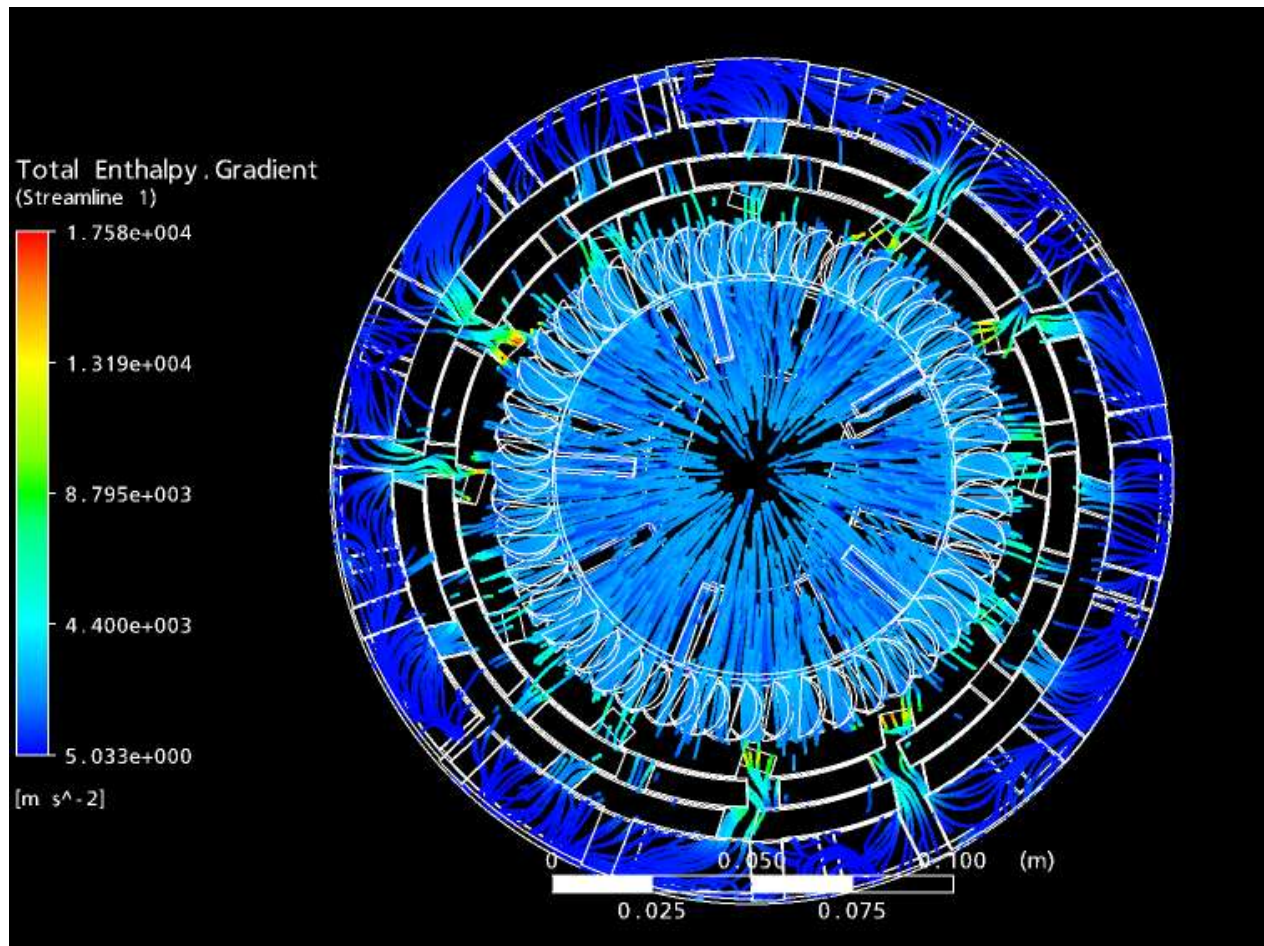


Рисунок 4.6 – Лінії току рідини в проточній частині ТГА-К

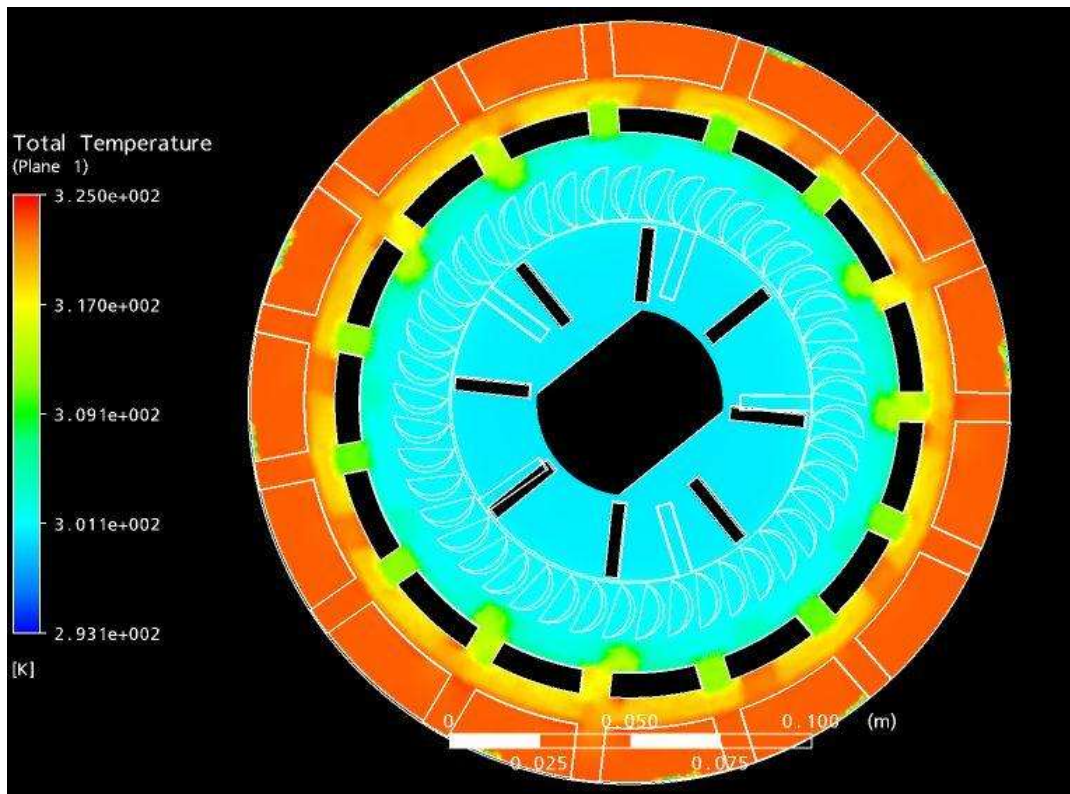


Рисунок 4.7 – Візуалізація нагріву рідини в радіальному напрямку

При моделюванні потоку рідини визначили крутний момент на роторі $M=38,2$ Н·м. Потужність на перекачування, подрібнення та нагрів рідини визначалася наступним чином:

$$P = M\omega = M \frac{\pi n}{30}$$

$$P = 38,2 \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 12(\text{кВт})$$

ВИСНОВКИ

У звіті представлені результати наукової роботи, що велася на кафедрі прикладної гідроаеромеханіки Сумського державного університету, по дослідженню робочого процесу теплогенеруючих агрегатів багатофункціонального призначення. Основною практичною задачею, яка ставилася, було створення на принципах енергоефективності та ресурсозбереження технологічного обладнання на базі ТГА. Робота передбачала майже за всіма визначеними напрямками такі етапи, як інформаційний огляд з визначенням основних недоліків діючого обладнання, попередню оцінку можливості використання ТГА, етап фізичного моделювання, створення обладнання згідно вимог та лабораторного дослідження його характеристик, створення промислового зразка та його випробувань в умовах діючого виробництва. Такий підхід для технологій (підготовка зернового замісу у спиртовому виробництві, гомогенізація в харчовій промисловості, кормоприготування у тваринництві) дозволив створити промислові зразки обладнання та впровадити їх. Крім цього, поставлено ряд задач, спрямованих на створення ефективного обладнання для виробництва лакофарбових матеріалів, підготовки вапняного молока в цукровій промисловості тощо. За таких умов планується подальше дослідження ТГА з метою розширення сфер використання. Щодо створених промислових зразків плануються подальші роботи по розширенню типорозмірних рядів обладнання та їх впровадженню шляхом укладання господарських угод.

Певного інтересу набуває використання ТГА для систем опалення, гарячого водопостачання. Протягом 2009 року був створений типорозмірний ряд вказаних агрегатів та виготовлено декілька дослідних зразків. Більш широкий розвиток вказаного напрямку може бути реалізований шлях створення та дослідження системи вцілому. Питанням, що вимагає ґрунтовного дослідження є узгодження характеристик системи, теплогенератора та теплоаккумулятора, розробка системи автоматичного керування системою опалення та розробка практичних рекомендацій щодо використання вказаного обладнання в залежності від призначення об'єкту, що опалюється, та умов навколишнього середовища.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ковальов С.Ф., Папченко А.А. Багатофункціональні теплогенеруючі агрегати та їх використання для перспективних технологій спиртової промисловості // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля Науковий журнал № 3 (109) 2007 Ч.1 – Луганськ 2007. – С. 124 – 128.
2. Папченко А.А. Использование теплогенерирующего агрегата в технологических процессах животноводства// Збірник наукових праць (Удосконалення турбоустановок методами математичного і фізичного моделювання). – Харків: ІПМаш ім. А.М. Підгорного НАН України, 2003. – С.611-613.
3. Волков Н.И., Папченко А.А. Многофункциональный теплогенерирующий агрегат и его использование для приготовления кормовых смесей в сельскохозяйственных предприятиях// Всеукраїнський науково-технічний журнал “Промислова гідравліка і пневматика”. – Вінниця, 2004. №1(3). – С. 99-102.
4. Євтушенко А.О., Ковальов С.Ф., Овчаренко М.С., Папченко А.А. Розробка багатофункціонального теплогенеруючого агрегату-гомогенізатора для приготування біологічних добавок // Вестник национального технического университета Украины «КПИ». Серия "Машиностроение", Киев, – 2007.- 53 с.
5. Євтушенко А.О., Папченко А.А., Овчаренко М.С., Семенов О.М. Розробка і створення багатофункціонального ТГА-гомогенізатора для реалізації технологічного процесу приготування ліквіфос-стронга/Матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів та студентів.-Суми: Вид-во СумДУ, 2009.-26 с.
6. Папченко А.А., Овчаренко М.С., Білозьоров А.В. Передумови використання роторно-динамічних теплогенеруючих агрегатів-гомогенізаторів для технологій лакофарбової промисловості /Ж. Вісник СумДУ, Суми, 2010, № 3, т.1.

7. Євтушенко А.О., Папченко А.А., Коломієць В.В., Овчаренко М.С. Удосконалення технології переробки молока за рахунок роторно-динамічних гомогенізаторів моноблочного виконання /Ж. Вісник СумДУ, Суми, 2010, № 2.- С.44-50.
8. Євтушенко А.О., Папченко А.А., Коломієць В.В., Овчаренко М.С. Шляхи підвищення ефективності роторних теплогенеруючих агрегатів-гомогенізаторів/Ж. Промислова гідравліка і пневматика, Вінниця, 2010, № 1.- С.95-99.
9. Технология спирта / В.А. Маринченко, В.А. Смирнов, Б.А. Устинников и др: Под ред. В.А. Смирнова. – М.: Лёгкая и пищевая пром-сть, 1984. – 416 с.
10. Технология спирта и спиртпродуктов/ В.В. Ильинич, Б.А. Устинников, И.И. Бурачевский, С.И. Громов; под ред. В.В. Ильинич. – М.: «Агропромиздат», 1987. – 383 с.: ил.
11. О.А. Кокушкин, А.А. Барам, и И.С. Павлушенко. О расчете мощности ротационных аппаратов. Химическое машиностроение, 1969. - №8.
12. Барам А.А., Дерко П.П., Клоцунг Б.А. Расчет мощности аппаратов роторно-пульсационного типа // Химическое и нефтяное машиностроение.- 1978. №4. - С. 5-6.
13. Дерко П.П., Барам А.А., Коган В.Б. и др. О гидромеханических закономерностях работы роторно-пульсационных аппаратов. // ТОХТ 1973. Т.7, №1. - С. 123-125.
14. Михайлов А.К., Малюшенко В.В.. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование. М., «Машиностроение» 1977.
15. Папченко А.А., Ковальов С.Ф. Баланс енергії теплогенеруючого агрегату та оцінка ступені гомогенізації робочого середовища /Ж. Східно-Європейський журнал передових технологій, Харків, 2010, № 6/7(48).
16. Орлова О.В., Фомичева Т.Н. Технология лаков и красок: Учебник для техникумов. – М., Химия, 1990.-384 с.; ил.

17. Васильцов Э.А., Ушаков В.Г. Аппараты для перемешивания жидких сред: Справочное пособие. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1979. – 272 с., ил.
18. www.afuelsystems.com
19. www.dispod.ru
20. www.agro-mash.ru
21. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности. - М: "Химия", 1977.
22. Патент на изобретение № 2302902 Российской федерации, МПК В02С17/16 Рабочий цилиндр бисерной мельницы Сербин В.М., Пенкин Н.С. – опубл. 20.07.2007.
23. Эффективные малообъемные смесители/В.В. Богданов, Е.И. Христофоров, Б.А., Клоцунг. - Л.: Химия, 1989. - 224с.:ил.
24. Основы теории и расчета деталей роторного аппарата: Учебное пособие / В.М. Червяков, Ю.В. Воробьев. – Тамбов: Изд-во Тамбовского государственного ун-та, 2008.
25. Курочкин А.А. Технологическое оборудование для переработки продуктов животноводства / А.А. Курочкин, В.В. Лященко; Под ред. В.М. Баутина. – М.: Колос, 2001. – 440 с.
26. Технологическое оборудование консервных заводов // И.С. Аминов, М.Я. Дикис, А.Н. Мальский, А.К. Гладушняк. – 5-е изд. перераб. и доп. – Агропромиздат, 1986. - 319 с.
27. Промтов М.А. Роторные импульсные аппараты и перспективы их применения. <http://www.tstu.ru/>.
28. Мелехин Ю.И.; Беляев А.В. Патент ООО "Технологии в Сибири". 1999.03.23.
29. Гринь В.Т. Статический смеситель-гомогенизатор для производства наливных маргаринов // Пищ. Пром-сть, №6 – 1989. – С. 23-25.
30. Патент ЕВП 0285725, А2, МКИ В01F5/06, Оpubл. Bulletin 88/41. – 12.10.88.

31. Оборудование предприятий молочной промышленности / Н.Я. Лукьянов, Н.В. Барановский – М.: «Пищевая промышленность», 1968. - С. 166-170.
32. Папченко А.А., Ковальов С.Ф. Баланс енергії теплогенеруючого агрегату та оцінка ступеня гомогенізації робочого середовища. - Ж.//Східно-Європейський журнал передових технологій, Харків, 2010, №6/7(48).

Додаток А

Акт випробувань ТГА-гомогенізатора на ТОВ "Імпульс"

Додаток Б

Акт впровадження результатів наукового дослідження на ДП "Сумиспирт"

Додаток В

Акт впровадження ТГА-гомогенізатора на ДВ ТОВ "ВО Моліс"